



Seppo Paukkeri

Nopeusrajoitukset alusliikenteen ympäristövaikutusten, turvallisuuden ja sujuvuuden kannalta Vuosaaren meriväylällä

Seppo Paukkeri

Nopeusrajoitukset alusliikenteen
ympäristövaikutusten,
turvallisuuden ja sujuvuuden
kannalta Vuosaaren meriväylällä

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 50/2010

Liikennevirasto
Helsinki 2010

Kannen kuvat: Arto Säilynoja ja rannikkokartta nro 18 © Liikennevirasto

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-609-7

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Seppo Paukkeri: Nopeusrajoitukset alusliikenteen ympäristövaikutusten, turvallisuuden ja sujuvuuden kannalta Vuosaaren meriväylällä. Liikennevirasto, meriosasto. Helsinki 2010. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 50/2010. 74 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-609-7.

Avainsanat: alusliikenne, meriväylä, nopeusrajoitus, aallot ja virtaukset, ympäristövaikutukset, aluksen ohjailu, polttoaineenkulutus, savukaasupäästöt

Tiivistelmä

Vuosaaren uusi satamakeskus avattiin vuoden 2008 lopulla. Sataman avaamisen jälkeen huomattiin, että satamaan johtavalla meriväylällä kulkevat suuret rahtialukset voivat aalto- ja virtausvaikutuksellaan aiheuttaa haittaa väylän varrella olevien saarten rannoilla ja venesatamissa. Väyläviranomaisen määräsi väylälle nopeusrajoitukset, joiden tarkoituksena oli vähentää näitä haittoja. Nopeusrajoituspäätös aiheutti tyytymättömyyttä niin väylän käyttäjien kuin saarten asukkaiden keskuudessa. Rajoitusten katsottiin olevan toisaalta liian suuria alusten aiheuttamien haittavaikutusten kannalta, mutta toisaalta osalla väylää liian pieniä alusten ohjailukyvyyn säilyttämiseksi.

Tässä tutkimuksessa selvitetään Vuosaaren väylällä väylän nykyisillä nopeusrajoituksilla liikkuvien rahtialusten aallonmuodostuksen ja virtausten aiheuttamat ympäristövaikutukset väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla ja venesatamissa. Lisäksi selvitetään, ovatko nykyiset nopeusrajoitukset riittävän suuria, jotta alukset voivat liikkua väylällä myös haasteellisissa tuuliolosuhteissa. Työssä tarkastellaan väylälle asetettujen nopeusrajoitusten roolia alusliikenteen ympäristövaikutusten ja turvallisuuden ohella alusliikenteen sujuvuuden, sataman operoinnin sekä alusten polttoaineenkulutuksen, päästöjen ja näiden kustannusten näkökulmasta. Työn tavoitteena on löytää väylälle optimaalinen nopeusrajoitus, jolla alusliikenne olisi turvallista, sujuvaa ja aiheuttaisi mahdollisimman vähän ympäristöön kohdistuvia haittavaikutuksia.

Työn kirjallisuusselvitysosiossa käsitellään alusten aiheuttamia aaltoja ja virtauksia sekä niiden vesien käyttöön kohdistuvia ympäristövaikutuksia saaristo-olosuhteissa. Työhön liittyvissä maastotutkimuksissa mitataan alusliikenteen aiheuttamia aaltoja, virtauksia ja vedenpinnan korkeusvaihteluja Vuosaaren väylän varrella sijaitsevien saarten rantojen tuntumassa ja arvioidaan niiden aiheuttamaa haittaa venesatamien ja -laitureiden käytölle sekä rantojen virkistyskäytölle. Väylällä operoiville alusten päälliköille ja luotseille suunnatussa kyselyssä selvitetään eri alustyyppien turvallisen ohjailun vaatimat vähimmäisnopeudet väylällä erilaisissa tuuliolosuhteissa. Väylän nopeusrajoitusten vaikutusta alusliikenteen polttoaineenkulutukseen, päästöihin ja näiden kustannuksiin arvioidaan meriliikenteen päästölaskentamallin (MERIMA) avulla.

Alusten aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö väylän lähiympäristössä lisääntyy, kun alusnopeudet väylällä kasvavat. Nopeuden ohella aalto- ja virtaushäiriön voimakkuuteen vaikuttavat mm. aluksen koko, kohteen ja väylän välinen etäisyys sekä vesialueen muoto ja syvyysolosuhteet. Laiva-aallot, vedenpinnan korkeusvaihtelut ja virtaukset voivat vaikeuttaa venesatamien ja -laiturien käyttöä, vahingoittaa laitureihin kiinnitettyjä veneitä ja heikentää ranta-alueiden virkistyskäyttämömahdollisuuksia. Ongelmallisia kohteita ovat erityisesti ne väylän lähellä sijaitsevat ranta-alueet, jotka ovat suojassa luonnonaallokolta, mutta alttiina alusten aalto- ja virtaushäiriölle.

Nopeusrajoitusten määrittäminen kauppamerenkulun väylälle on vaikea tehtävä. Jos nopeuksia väylällä alennetaan alusten aiheuttamien ympäristövaikutusten vuoksi, alusturvallisuus ja liikenteen sujuvuus voi heikentyä. Tämän työn tuloksena esitetään suositukset Vuosaaren väylän nopeusrajoituksiksi. Tulosten perusteella nopeusrajoituksia tulisi alusten aiheuttamien ympäristövaikutusten näkökulmasta osalla väylää alentaa. Tämä ei kuitenkaan ole suositeltavaa, sillä useat alukset tarvitsevat nykyisten rajoitusten sallimia tai näitä suurempia nopeuksia, jotta ne voivat liikkua turvallisesti väylällä. Jos nopeusrajoituksia alennetaan, alusturvallisuuden lisäksi myös liikenteen sujuvuus väylällä heikentyy, mikä voi aiheuttaa ongelmia erityisesti linjaliikenteen alusten aikataulujen pitävyydelle. Vaikka osalla väylää nopeusrajoituksia tulisikin alentaa, eräillä toisilla osuuksilla rajoituksia sitä vastoin voitaisiin nostaa ympäristövaikutusten kohtuuttomasti lisääntymättä. Alusten aiheuttamia ympäristövaikutuksia voidaan nopeusrajoituksia alentamatta pyrkiä vähentämään parantamalla venesatamien aaltosuojauksia ja laitureita sekä lisäämällä informaatiota mahdollisista laiva-aalloista ja vedenpinnan korkeusvaihteluista rantojen tuntumassa.

Seppo Paukkeri: Hastighetsbegränsningar för fartygstrafiken med tanke på miljökonsekvenser, säkerhet och smidighet i Nordsjöleden. Trafikverket, sjöavdelningen. Helsingfors 2010. Trafikverkets undersökningar och utredningar 50/2010. 74 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-609-7.

Nyckelord: fartygstrafik, sjöled, hastighetsbegränsning, vågor och strömmar, miljökonsekvenser, fartygsmanövrering, bränsleförbrukning, rökgasutsläpp

Sammanfattning

Nordsjö nya hamn öppnades i slutet av 2008. Efter öppnandet av hamnen upptäckte man att de stora fraktfartygen i farleden till hamnen genom vågsvall och strömningsinverkan kan orsaka skador på stränderna och i båthamnarna på öarna i farleden. Farledsmyndigheterna fastställde hastighetsbegränsningar för farleden i avsikt att minska dessa skador. Beslutet om hastighetsbegränsningar orsakade missnöje bland både farledens användare och invånarna på öarna. Begränsningarna ansågs å ena sidan vara för höga med tanke på fartygens skadeverkan men å andra sidan för låga med tanke på fartygens manövrerbarhet i vissa avsnitt av farleden.

I denna undersökning utreds vilka miljökonsekvenser de vågbildningar och strömningar som fraktfartygen som trafikerar Nordsjöleden med dagens hastighetsbegränsningar ger upphov till på stränderna och i båthamnarna på öarna i farleden. Dessutom utreder man om de nuvarande hastighetsbegränsningarna är tillräckliga i farleden även i krävande vindförhållanden. I arbetet granskar man vilken roll farledens hastighetsbegränsningar spelar för fartygstrafiken med tanke på miljökonsekvenserna och säkerheten. Därtill kontrollerar man hur hastighetsbegränsningarna påverkar trafikflexibiliteten, hamnoperatörerna samt fartygens bränsleförbrukning, utsläpp och kostnader. Målet med arbetet är att hitta en optimal hastighetsbegränsning för farleden som är säker och smidig för fartygstrafiken samt medför så små miljöolägenheter som möjligt.

I litteraturutredningsavsnittet i arbetet behandlas de vågor och strömningar som fartygen orsakar samt vilka miljökonsekvenser för vattenanvändningen i skärgårdsförhållanden som de ger upphov till. I fältundersökningarna i anslutning till arbetet mäter man vågor, strömningar och vattenytans höjdvariationer som orsakas av fartygstrafiken nära stränderna på öarna i Nordsjöleden. Dessutom bedömer man hur stora olägenheterna är för båthamnarna och båtbyggarna samt stränderna med tanke på rekreationsbruk. I en förfrågan som riktas till fartygsbefälhavare och lotsar som opererar i farleden utreder man vilka minimihastigheter olika fartygstyper kräver för att kunna manövreras säkert i olika vindförhållanden. Effekterna av farledens hastighetsbegränsningar på fartygstrafikens bränsleförbrukning, utsläpp och kostnader bedöms med hjälp av utsläppskalkylmodellen för sjötrafik (MERIMA).

De våg- och strömningsstörningar som fartygen orsakar i farledens närmiljö ökar när fartygens hastigheter i farleden ökar. Utöver hastigheten är bl.a. fartygets storlek, distansen mellan objektet och farleden samt vattenområdets form och djup faktorer som påverkar styrkan i våg- och strömningsstörningen. Fartygens svallvågor, vattenytans höjdvariationer och strömningarna kan försvåra användningen av båthamnarna och båtbyggarna, skada båtar som är förtöjda vid bryggorna och försämra möjligheterna att använda strandområden för rekreation. Problematiska är särskilt de strand-

områden som ligger nära farleden och är skyddade mot naturlig sjögång men utsatta för våg- och strömningsstörningar från fartyg.

Det är ingen lätt uppgift att fastställa hastighetsbegränsningar i en farled för handelssjöfart. Om hastigheterna i farleden sänks på grund av fartygens miljökonsekvenser kan det försvaga säkerheten och flexibiliteten i fartygstrafiken. Som ett resultat av detta arbete presenteras rekommendationer till hastighetsbegränsningar för Nordsjöleden. Resultaten visar att hastighetsbegränsningarna borde sänkas i en del av farleden med tanke på de miljökonsekvenser som fartygen ger upphov till. Detta kan ändå inte rekommenderas eftersom flera fartyg behöver de hastigheter som dagens begränsningar tillåter eller högre hastigheter, för att kunna gå säkert i farleden. Om hastighetsbegränsningarna sänks försvagas fartygssäkerheten och smidigheten i farleden vilket kan leda till problem särskilt för fartyg i linjefart som får svårt att hålla tidtabellerna. Trots att hastighetsbegränsningarna borde sänkas i en del av farleden kunde de höjas i vissa andra avsnitt utan att miljökonsekvenserna ökade orimligt mycket. Man kan sträva efter att minska fartygens miljökonsekvenser utan att sänka hastighetsbegränsningarna genom att förbättra vågskydd och bryggor i båthamnarna samt genom ökad information om eventuella fartygssvallvågor och vattenytans höjdvariationer nära stränderna.

Seppo Paukkeri: Speed limits on the Vuosaari fairway from aspects of environmental effects of vessel traffic, traffic safety and traffic flow smoothness. Finnish Transport Agency, Maritime Department. Helsinki 2010. Research reports of the Finnish Transport Agency 50/2010. 74 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-609-7.

Keywords: vessel traffic, fairway, speed limit, environmental effects of ship-induced waves and currents, ship manoeuvring, fuel consumption, emissions

Summary

The new Vuosaari harbour was opened in late 2008. After opening the harbour it was noticed that waves and currents generated by large cargo vessels, which sail on the fairway leading to the harbour, can cause harm to the shore areas and marinas located near the fairway. The authority ordered speed limits to the fairway, which were intended to reduce these disadvantages. The speed limits led to dissatisfaction not only among the users of the fairway but also among the inhabitants of islands located near the fairway. The speed limits were considered to be too high in terms of injurious effects of the vessel traffic but on the other hand they were found to be too low in some sections of the fairway to maintain the manoeuvrability of the vessels.

This study examines the environmental effects of waves and current generated by the cargo vessels sailing on the Vuosaari fairway to the shore areas and marinas of islands located near the fairway. The study also examines whether the existing speed limits are high enough in terms of safe manoeuvring of vessels also in challenging wind conditions. In addition, the role of the speed limits ordered to the merchant shipping fairway is examined from aspects of traffic flow smoothness, harbour operations as well as fuel consumption and emissions of the vessel traffic and cost of them. This study aims to find out the optimal speed limit to the fairway, which allows safe operating and smooth traffic flow on the fairway but the vessels still cause as little injurious environmental effects as possible.

The literature research concentrates on the ship-induced waves and currents, and environmental effects of them in archipelago. The field investigations include measurements of the ship-induced waves, currents and water level variations near shores and in marinas near the fairway. The inquiry investigation aims to find out the minimum required speeds of the vessels on the fairway in terms of safe manoeuvring in different wind conditions. The questionnaires were sent to the masters and the pilots operating on the Vuosaari fairway. The impacts of the speed limits on the fuel consumption and on the emissions of the vessels were estimated by means of the marine traffic emission model (MERIMA).

Wave and current disturbance generated by vessels sailing on the fairway increases when speeds of vessels increase. In addition, the size of a vessel, the distance between a shore and the fairway as well as the shape and the depth of surrounding water area, has a significant role in the wave and current disturbance emergence process. The ship-induced waves, the currents and the water level variations might complicate use of marinas and boat quays, damage moored boats or impair the possibilities of recreational use of shore areas. Problematic areas are particularly those which are sheltered against wind-induced waves but which are now susceptible to the ship-induced waves and currents.

Defining speed limits to the merchant shipping fairway is not simple. Lowering speeds on the fairway might cause problems to the vessel traffic safety and traffic flow smoothness. The recommendations of the speed limits to the Vuosaari fairway are presented as one result of this study. The results show that due to the injurious effects of the vessel traffic, the speed limits should be lowered in some sections of the fairway. However, it is not advisable, because in order to maintain safe operating on the fairway in challenging wind conditions, many vessels require minimum speeds that are very close to the existing speed limits. If the speed limits were lowered, the traffic flow on the fairway would also be impaired. This might cause problems particularly to the schedules of line shipping. Even though the speed limits should be lowered in some sections of the fairway, on the contrary the limits could be raised in some other sections and the injurious environmental effects still are in acceptable level.

The injurious effects of vessel traffic could be reduced, without lowering the speed limits on the fairway, by improving the breakwaters and boat quays in marinas as well as by sharing information about the possibility of the ship-induced waves and water level variations near the shores.

Esipuhe

Tämä selvitys perustuu tekniikan kandidaatti Seppo Paukkerin tekemään diplomityöhön, joka on hyväksytty Aalto-yliopiston Teknillisen korkeakoulun Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitoksella joulukuussa 2010. Selvitystyö on tehty Meriosaston Suomenlahden väyläyksikön toimeksiantona ja työn on rahoittanut Liikennevirasto.

Työn valvojana toimi professori Timo Ernvall Aalto-yliopiston Teknillisestä korkeakoulusta. Työn ohjaajina toimivat diplomi-insinööri Simo Kerkelä Liikenneviraston Meriosaston Suomenlahden väyläyksiköstä ja diplomi-insinööri Olli Holm Meriosaston Vesiväyläteknisestä yksiköstä.

Helsingissä joulukuussa 2010

Liikennevirasto
Meriosasto

Sisällysluettelo

KÄSITTEET JA TERMIT	11
1 JOHDANTO	13
1.1 Työn taustaa	13
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset	14
1.3 Työn toteutus	15
2 VUOSAAREN SATAMA, MERIVÄYLÄ JA NOPEUSRAJOITUKSET	16
2.1 Satama	16
2.2 Meriväylä	18
2.3 Nopeusrajoitukset kauppamerenkulun väylällä	22
3 ALUSTEN AIHEUTTAMAT AALLOT, VIRTAAUKSET JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	23
3.1 Taustaa	23
3.2 Alusten aiheuttamat aallot	23
3.3 Alusten aiheuttamat virtaukset	27
3.4 Laiva-aaltojen ja virtausten arviointimenetelmät	28
3.5 Alusten aiheuttamien aaltojen vertailu luonnonaallokkoon	32
3.6 Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset	33
4 MAASTOTUTKIMUKSET	36
4.1 Mittauskohteet ja -menetelmät	36
4.2 Tulokset	39
4.2.1 Kuiva-Hevosen venesatama	39
4.2.2 Krokholmenin mökkiranta	42
4.3 Tulosten arviointia	45
4.4 Arviointiyhteenveto alusten aiheuttamista haittavaikutuksista väylän varrella	49
5 ALUSLIIKENTEEN TURVALLISUUS JA SUJUVUUS	52
5.1 Yleistä	52
5.2 Aluksen ohjailu väylällä	52
5.3 Kysely Vuosaaren väylällä operoiville alusten päälliköille ja luotseille	55
5.4 Alusliikenteen ohjaus ja liikenteen sujuvuus	60
6 VÄYLÄN ALUSLIIKENTEEN POLTTOAINEENKULUTUS, PÄÄSTÖT JA KUSTANNUKSET	62
6.1 Meriliikenteen päästöt	62
6.2 Väylän polttoaineenkulutus, -päästö- ja kustannuslaskelma	63
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	68
LÄHTEET	72

Käsitteet ja termit

linjaliikenne	Aikataulunmukaista, säännöllistä rahtiliikennettä ennalta määrättyllä reitillä.
syöttöliikenne	Rahtiliikennettä, jossa syöttöliikenteen alukset kuljettavat rahtia pienistä satamista suursatamiin, joissa kuljetukset yhdistetään edelleen kuljetettavaksi suurilla valtamerialuksilla kaukaisempiin kohteisiin.
roro-alus	Rahtialus, joka lastataan aluksen perä-, keula- tai sivuportista pyörillä liikkuvilla kuljetusalustoilla. Roro tulee englannin kielen sanoista roll on/roll off. Nämä alukset kuljettavat pääsääntöisesti rekkoja ja perävaunuja. Aluksilla voidaan usein kuljettaa lisäksi pieni määrä kontteja.
ropax-alus	Kuin roro-alus, mutta tässä aluksessa on lisäksi merkittävä määrä matkustajapaikkoja.
konttialus	Rahtialus, jonka lasti on standardoiduissa konteissa. Kontit lastataan alukseen satamanostureilla. Alusten konttikapasiteetti vaihtelee alle 1000 TEU:sta aina 15 000 TEU:iin asti.
konttifeederalus	Syöttöliikenteessä käytetty konttialustyyppi. Konttikapasiteetti vaihtelee tavallisesti noin 500 TEU:sta 1500 TEU:iin.
TEU	Konttiliikenteen perusmittayksikkö. TEU tulee englannin kielen sanoista "twenty-foot equivalent unit". Tarkoittaa ISO-standardinmukaista, 20 jalan (n. 6 m) pituista konttia.
syväys	Aluksen rungon alimman osan suurin pystysuora etäisyys vedenpinnan tasosta.
uppouma	Aluksen kelluessaan syrjäyttämän vesimassan paino tonneina.
DWT (deadweight tonnage)	Aluksen kokoa kuvaava termi. Tarkoittaa aluksen kantavuutta tonneissa ilmaistuna. Aluksen kantavuus kuvaa aluksen lastin, polttoaineen, varusteiden ja henkilöiden suurinta mahdollista yhteispainoa.
drawdown	Liikkuvan aluksen aiheuttama rannalla havaittava vedenpinnan alenema aluksen ohittaessa tarkastelukohteen.
Frouden syvyysluku (F_{NH})	Meriteknikassa yleisesti käytetty vesisyvyyden ja nopeuden vaikutusta aluksen vastukseen kuvaava dimensioton luku.

aluksen nopeuspainuma	Squat-painuma. Aluksen syväyksen lisääntyminen aluksen nopeuden kasvaessa. Tässä ilmiössä alus painuu sitä syvemmälle mitä suuremmalla nopeudella se liikkuu. Painuman suuruuteen vaikuttavat myös mm. vesialueen syvyys ja aluksen runkomuoto.
ADV	Acoustic Doppler velocimeter. Akustinen, ääniaaltojen kulkeutumismenoon vedessä perustuva virtausmittauslaite.
VTs	Vessel Traffic Service. Alusliikennepalveluista käytetty nimitys.
AIS	Automatic Identification System. Maailmanlaajuisesti käytössä oleva alusten automaattinen tunnistus- ja seurantajärjestelmä. Järjestelmässä alukset ilmoittavat automaattisesti merellä ja satamassa lyhyin väliajoin tunnistetietonsa, sijaintinsa, nopeutensa ja kulkusuuntansa.
solmu	Merenkulkualalla yleisesti käytetty nopeuden yksikkö. Lyhenne on kn tai s. Yksi solmu on noin 1,85 km/h.
merkitsevä aallonkorkeus	Luonnonaallokon korkeutta kuvaava termi. Vastaa suurin piirtein kokeneen merenkulkijan arvioimaa keskimääräistä aallonkorkeutta.
sorto	Luonnonaallokon, tuulen tai virtausten synnyttämän, alukseen kohdistuvan voiman aiheuttama poikkeama aluksen kulkusuuntaan.
sortokulma	Aluksen näennäisen liikesuunnan ja todellisen liikesuunnan välinen kulma.

1 Johdanto

1.1 Työn taustaa

Kattava satama- ja väyläverkosto on Suomen maantieteellisestä sijainnista johtuen Suomen ulkomaankaupalle elintärkeä. Vuosina 2000–2008 Suomen ulkomaankaupan viennistä keskimäärin noin 71 % ja tuonnista noin 90 % tonnimäärissä mitattuna kuljetettiin meritse. Vastaavat prosentuaaliset osuudet olivat kuljetetun tonniston rahallisessa arvossa mitattuna viennin osalta noin 71 % ja tuonnin noin 75 % (Tulli 2000–2008). Suomessa toimi vuonna 2008 lähes 60 satamaa. Niitä palvelevia kauppamerenkulun väyliä on noin 3900 km. Suuri osa Suomen satamista on kuntien ja kaupunkien omistuksessa, mutta maassamme on myös useita yksityisten teollisuusyritysten omistamia ja niiden kuljetuksia palvelevia satamia. (Merenkululaitos 2009 a.)

Vuosaaren sataman rakentaminen oli Suomen historian mittavimpia yhdyskuntarakentamisen hankkeita. Uuden sataman rakentamisen tavoitteena oli saada Helsinkiin uusi, nykyaikainen satamakeskus. Aiemmin Helsingin kantakaupungissa hajallaan sijainneet Sörnäisten ja Länsisataman tavarakuljetukset haluttiin keskittää yhteen suursatamaan, joka toisi myös lisäkapasiteettia kasvavaan merikuljetusten kysyntään. Lisäksi entiset kantakaupungin satama-alueet haluttiin saada asunto- ja toimitilarakentamisen käyttöön. Vuosaaren sataman rakentaminen aloitettiin vuonna 2003 ja suunnitelmien mukainen satamatoiminta alkoi marraskuussa 2008. (Heikkonen 2008.)

Ennen rakentamista Vuosaaren satamahankkeesta tehtiin Suomen mittakaavassa huomattavan laaja YVA-selvitys. Uusi laki ympäristövaikutusten arvioinnista tuli maassamme voimaan vuonna 1994 ja Vuosaaren satamahanke olikin ensimmäisiä hankkeita, joihin tätä uutta lakisääteistä arviointia sovellettiin. Satamahankkeen YVA:ssa todettiin, että sellaisia satamatoimintojen ja alusliikenteen aiheuttamia vaikutuksia, joita ei voitu tarkemmin arvioida ennen varsinainen satamatoiminnan ja alusliikenteen alkamista, olisi tarpeellista seurata sataman käyttöönoton ja liikenteen alkamisen jälkeen. Tällaisia seurantaa vaativia vaikutuksia olivat YVA:n mukaan alusliikenteen aiheuttamat aallot ja virtaukset satamaan johtavan väylän varrella. (Salme ja Soimakallio 1996.)

Vuosaaren satamatoiminnan alettua huomattiin, että väylällä kulkevat suuret rahialukset voivat aallonmuodostuksellaan ja vedenpinnan korkeusvaihteluista synnyttävillä uppoamavirtauksillaan aiheuttaa haittaa väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla ja venesatamissa. Väylästä vastannut silloinen Merenkululaitos, nykyinen Liikenneviraston Meriosasto, määräsi osalle väylästä nopeusrajoitukset, joiden tarkoituksena oli vähentää näitä haittavaikutuksia. Nopeusrajoituspäätös aiheutti kuitenkin tyytymättömyyttä niin väylän varrella olevien saarten asukkaissa kuin väylän käyttäjissäkin. Rajoitusten katsottiin olevan toisaalta liian suuria alusten aiheuttamien haittavaikutusten kannalta, mutta toisaalta osalla väylää liian pieniä alusten ohjailukyvyyn säilyttämiseksi erityisesti haasteellisissa tuuliolosuhteissa.

Silloinen Merenkululaitos lupasi tehdä selvityksen alusten aiheuttamien aaltojen ja uppoumavirtausten haitoista väylän varrella. Selvityksessä tarkasteltaisiin myös väylälle määrättyjen nopeusrajoitusten riittävyyttä alusten turvallisen ohjailun näkökulmasta. Nopeusrajoituksia olisi mahdollista muuttaa, jos se selvityksen tulosten perus-

teella katsottaisiin tarpeelliseksi. Selvitys sovittiin toteutettavaksi diplomityötutkimuksena Liikenneviraston Meriosaston Suomenlahden väyläyksikössä vuoden 2010 aikana.

Tämä tutkimusraportti perustuu diplomityöhön (Paukkeri 2010). Raportin rakenne ja sisältö noudattavat diplomityön rakennetta ja sisältöä, mutta asiasisältöä on paikoin tiivistetty ja lyhennetty. Varsinainen diplomityötutkimus on julkaistu kokonaisuudessaan Aalto-yliopiston Teknillisen korkeakoulun Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitoksella joulukuussa 2010.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tässä työssä tarkastellaan Vuosaaren väylälle asetettuja nopeusrajoituksia alusliikenteen ympäristövaikutusten, liikenteen sujuvuuden ja ohjauksen sekä alusturvallisuuden näkökulmista. Näiden pääteemojen lisäksi työssä arvioidaan nopeusrajoitusten vaikutusta väylän alusliikenteen polttoaineenkulutukseen, päästöihin ja näiden kustannuksiin.

Tämän työn tavoitteet ovat:

- Selvittää Vuosaaren väylän alusliikenteen aallonmuodostuksen ja uppoumavirtausten aiheuttamat ympäristövaikutukset väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla väylän nykyisillä nopeusrajoituksilla. Tavoitteena on myös selvittää, miten nämä vaikutukset riippuvat alusten kulkunopeuksista ja alustyypeistä väylällä.
- Selvittää, ovatko väylän nykyiset nopeusrajoitukset riittävän suuria, jotta alukset voivat liikkua turvallisesti väylällä myös haasteellisissa tuuliolosuhteissa.
- Selvittää, miten väylälle asetetut nopeusrajoitukset vaikuttavat alusliikenteen sujuvuuteen ja alusliikenteen ohjaukseen sekä sataman operointiin.
- Arvioida, kuinka paljon väylälle asetetut nopeusrajoitukset vähentävät alusliikenteen polttoaineenkulutusta ja savukaasupäästöjä sekä polttoainekustannuksia ja päästöjen yhteiskuntataloudellisia kustannuksia vuositasona.

Työssä pyritään myös arvioimaan, miten alusliikenteen aiheuttamat ympäristövaikutukset, alusliikenteen turvallisuus, sujuvuus sekä polttoaineenkulutus ja päästöt muuttuvat tilanteissa, joissa väylän nopeusrajoituksia nostetaan tai lasketaan nykyisistä. Tavoitteena on löytää väylälle optimaalinen nopeusrajoitus, jolla alusliikenne olisi turvallista, sujuvaa ja aiheuttaisi mahdollisimman vähän ympäristöön kohdistuvia haittavaikutuksia.

Työ rajataan koskemaan vain Vuosaaren väylää. Työn tuloksia voitaneen silti käyttää jatkossa myös muiden kauppamerenkulun väylien kehittämishankkeiden ympäristövaikutuksia arvioitaessa. Väylien kehittämishankkeet voivat tähdätä esimerkiksi väylän syventämiseen tai väylälinjauksen muuttamiseen. Vuosaaren väylän kaltaisia merkittäviä uusia kauppamerenkulun väyliä ei Suomessa ainakaan lähitulevaisuudessa olla rakentamassa.

Työssä keskitytään alusliikenteen aallonmuodostuksen ja uppoumavirtausten aiheuttamien ympäristövaikutusten osalta vesien käyttöön kohdistuviin vaikutuksiin. Vesien käyttöön kohdistuvat vaikutukset voivat aiheuttaa haittaa esimerkiksi venelaitureiden ja -satamien käytölle tai ranta-alueiden virkistyskäytölle. Muita Vuosaaren sataman ja väylän alusliikenteen ympäristövaikutuksia on tutkittu hyvin monipuolisesti niin sataman rakentamisen aikana kuin sen käyttöönoton jälkeenkin erilaisissa seurantatutkimuksissa. Näitä ovat esimerkiksi vesistön ja kalatalouden, linnuston ja kasvillisuuden sekä pohja- ja pintavesien seurannat (Heikkonen 2008).

1.3 Työn toteutus

Työn alkupuolella luodaan lyhyt katsaus alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten syntyprosessiin ja niiden vesien käyttöön kohdistuviin haittavaikutuksiin. Keskeisimpänä teemana ovat alusten aiheuttamat aallot ja virtaukset saaristo-olosuhteissa sekä alusten käyttämien nopeuksien rooli niiden synnyssä.

Työhön liittyvissä maastotutkimuksissa mitataan Vuosaaren väylällä liikkuvien rahatialusten aiheuttamia aaltoja, virtauksia ja vedenpinnan korkeusvaihteluita väylän varrella sijaitsevien saarten rantojen tuntumassa. Maastotutkimusten tavoitteena on selvittää laiva-aaltojen, virtausten ja vedenpinnan korkeusvaihteluiden suuruusluokkaa sekä arvioida niiden vesien käyttöön kohdistuvia haittavaikutuksia. Tavoitteena on myös selvittää, miten alusten aiheuttamat haittavaikutukset ovat riippuvaisia alustyyppistä ja -nopeudesta.

Työn loppupuolella käsitellään alusten ohjailuun väylällä vaikuttavia tekijöitä. Vuosaaren väylällä operoiville luotseille ja alusten päälliköille osoitetun kyselyn perusteella selvitetään alusten turvallisen ohjailun vaatimat vähimmäisnopeudet väylällä erilaisissa tuuliolosuhteissa. Tässä yhteydessä selvitetään myös alusliikenteen ohjauksen ja sataman näkemykset väylälle asetettujen nopeusrajoitusten vaikutuksista liikenteen sujuvuuteen ja sataman operointiin.

Väylän alusliikenteen polttoaineenkulutusta ja savukaasupäästöjä sekä näiden kustannuksia vuositasolla arvioidaan meriliikenteen päästöjen laskemiseksi kehitetyllä MERIMA-päästömallilla. Tavoitteena on saada käsitys siitä, kuinka paljon väylän alusliikenteen kokonaispolttoaineenkulutus, -päästöt ja näiden kustannukset muuttuvat vuositasolla, jos väylän nykyisiä nopeusrajoituksia nostetaan tai lasketaan.

2 Vuosaaren satama, meriväylä ja nopeusrajoitukset

2.1 Satama

Vuosaaren satama (kuva 1) on osa Helsingin Satamaa. Vuosaarella sijaitsee suurin osa Helsingin Sataman tavarakuljetustoiminnoista. Helsingin Satama on Suomen suurin konttisatama ja tonnimäärissä mitattuna toiseksi suurin satama Sköldvikin öljysataman jälkeen. Vuonna 2009 Helsingin Sataman ulkomaan tavarakuljetukset olivat noin 9,7 miljoonaa tonnia, josta viennin osuus oli 57 % ja tuonnin 43 %. Kontteja kuljetettiin sataman kautta noin 360 000 TEU:a, joista 51 % oli tuontia ja 49 % vientiä. (Merenkululaitos 2009 b.)

Vuosaaren satama palvelee tällä hetkellä pääosin kontti-, roro- ja ropax-alusliikennettä. Linjaliikenneyhteyksiä roro- ja ropax-aluksilla on tarjolla ainakin Ruotsiin, Viroon, Tanskaan, Manner-Eurooppaan, Brittein saarille ja Venäjälle. Konttikuljetukset suuntautuvat koko Itämeren alueelle aina Pohjanmerelle saakka. (Helsingin satama 2010.)

Vuosaaren satamassa operoivista alustyypeistä enemmistönä ovat roro- ja ropax-alukset; konttialuksia alusliikenteestä on noin kolmannes (Noroviita 2009). Vuonna 2009 satamassa kävi yhteensä noin 3100 alusta, mikä vastaa keskimäärin 8–9 aluskäyntiä päivässä (Helsingin Satama 2010). Hyvin maltillisen ennusteen mukaan vuonna 2020 aluskäyntejä olisi vuodessa noin 4000, mikä tarkoittaisi keskimäärin 11 alusta päivässä (Noroviita 2009).



Kuva 1 Vuosaaren satama (lähde: Vuosaaren satamahankkeen kuvapankki)

Vuosaaren satamassa käyvät alukset voidaan karkeasti jakaa alustyypeittäin seuraavasti:

- ropax-alukset, pituus yli 200 m (kuva 2.a)
- roro-alukset, pituus 130–200 m (kuva 2.b)
- alle 1300 TEU:n konttialukset, pituus yli 200 m (kuva 2.c)
- alle 1000 TEU:n konttialukset, pituus 130–170 m (kuva 2.d)

Roro- ja ropax-aluksia satamassa käy useita päivässä, mutta lastikapasiteetiltaan yli 1000 TEU:n konttialuksia harvemmin. Satamassa käyvistä konttialuksista tyypillisimpiä ovat maksimissaan noin 1000 TEU:n syöttöliikenteen konttifeederalukset.

Taulukossa 1 on esitetty eräitä teknisiä tietoja Vuosaaren satamassa tyypillisimmin operoivista aluksista.

Taulukko 1 Teknisiä tietoja Vuosaaren satamassa tyypillisimmin operoivista aluksista (lähteet: Suomen kuvitettu laivaluettelo 2009, www.marinetraffic.com, www.wikipedia.com)

Alustyyppi	Pituus	Leveys	Max.Syväys	Vetoisuus (GT/NT)	Kantavuus (DWT)	Lastinotto- kyky (kaista m / TEU)
<i>Ropax-alukset</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>t</i>	<i>t</i>	
Europalink	218,8	30,5	7,0	45 923 / 24 006	9653	4216 m
Superfast VII	203,3	25,4	6,6	30285 / -	5915	1891 m
<i>Roro-alukset</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>t</i>	<i>t</i>	
Finnpulp	187,1	26,5	6,9	25654 / 7696	11746	2681 m
Birka Trader	154,5	22,7	7,0	12 251 / 3 676	8 853	1775 m
<i>Konttialukset</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>t</i>	<i>t</i>	
MSC Eyra	203,1	25,5	9,8	17 720 / 8 828	21 370	1254 TEU
Containership VI	154,5	21,8	8,9	9 953 / 5 284	13 645	966 TEU
Aila	141,2	21,3	8,6	9 131 / 4 205	11 487	907 TEU



a.



b.



c.



d.

Kuva 2 a. Ropax-alus Europalink. b. Roro-alus Birka Trader. c. konttialus MSC Eyra. d. konttialus Containership VI (lähteet: www.marinetraffic.com)

2.2 Meriväylä

Satamaan johtavan meriväylän (kuva 3) suunnittelussa tutkittiin kolmea eri linjausvaihtoehtoa, joista toteutettiin kallein, mutta kokonaisuuden kannalta paras ns. Itä-Tontun linjaus. Väylän rakentamistöissä tehtiin mittavia ruoppaus- ja louhintatöitä, jotka kaikki sijoittuivat väylän sisäosalle sataman puoleiseen päähän. Väylä alkaa ulkomerellä Helsingin majakalta ja kulkee Itä-Toukin, Kuiva-Hevosen, Musta-Hevosen ja Krokholmenin saarten länsipuolelta Pikku-Niinisaaressa ja Mölandetin välisen kapean salmen kautta satamaan. Väylän kokonaispituus on 32 km. Väylän leveys vaihtelee välillä 200–2000 m. Väylän mitoitusaluksena on käytetty 11 metrin syvyyksellä kulkevaa, 230 m pitkää ja 33 m leveää valtameriliikenteen konttialusta. (Heikkonen 2008.)

Väylä on alkuosaltaan kaksikaistainen, mutta satamaan päin mentäessä Eestiluodon jälkeen väylä muuttuu yksikaistaiseksi. Noin 8 km pitkän yksikaistaisen osuuden keskivaiheilla on alusten kohtaamis- ja odotusalue.



Kuva 3 Vuosaaren 11 m:n meriväylä (lähde: Vuosaaren satamahankkeen kuva-pankki)

Väylän varrella olevat saaret

Itä- ja länsitoukin luodot ovat ulkosaariston uloimmassa osassa sijaitsevia kallioluotoja ennen Eestiluodon saariryhmää. Luodoilla ei ole asutusta, vaan niitä käyttävät lähinnä vapaa-ajan veneilijät kesäaikana. Lyhyin etäisyys Itätoukista Vuosaaren väylän keskilinjalle on noin 300 m ja Länsitoukista noin 2 km.

Eestiluoto sijaitsee ulkosaaristossa Vuosaaren väylän keskivaiheilla. Eestiluodon pääsaaren lisäksi saariryhmään kuuluu pienempiä saaria. Saariryhmän rannat ovat pääosin kalliorantoja. Väylän puoleisilla rannoilla ei ole merkittäviä venesatamia tai -laitureita. Saariryhmä on Helsingin kaupungin omistuksessa, mutta saarilla on myös yksityistä vapaa-ajan asutusta. Pääsaaren pohjoisosassa on luonnonsuojelualue. Lyhyin etäisyys Vuosaaren väylän keskilinjalle on saariryhmän läntisimmän saaren, Granlandetin, länsirannalta mitattuna noin 500 m.

Kuiva-Hevonen on yksityisen kiinteistöosakeyhtiön omistuksessa oleva saari, joka sijaitsee noin 3 km Eestiluodosta pohjoiseen. Saarella on lähinnä vapaa-ajan asutusta; vapaa-ajan asumiseen tarkoitettuja rakennuksia on noin 130. Saaren luoteisosa on luonnonsuojelu- ja virkistysaluetta. Saaren pienvenesatamat sijaitsevat saaren eteläpuolella. Pohjoisrannalla on veneiden kiinnittämiseen tarkoitettuja poijupaikkoja sekä kauppalaituri, jota saariston kauppalaiva käyttää kesäaikana. Lyhyin etäisyys saaren länsipuolelta Vuosaaren väylälle on alle 300 m. Saaren pohjoispuolella kulkee myös Etelä-Suomen talviväylä, jonka kulkusyvyyden on 9,0 m.

Musta-Hevonen sijaitsee noin 2 km Kuiva-Hevosesta pohjoiseen. Saaren maa-alueet ovat yksityisomistuksessa. Saarella on lähinnä vapaa-ajan asutusta. Ranta-alueilla on mökkirantoja ja venelaitureita. Lyhyin etäisyys saaren länsirannalta Vuosaaren väylälle on noin 900 m.

Krokholmen sijaitsee Vuosaaren väylän loppupäässä, noin 3 km Kuiva-Hevosesta pohjoiseen. Saaren eteläosa on yksityisomistuksessa ja pohjoisosa on Vantaan kaupungin ulkoilu- ja virkistysaluetta. Saarella on lähinnä vapaa-ajan asutusta. Eteläosan rannoilla on yksityisiä mökkirantoja ja venelaitureita, pohjoisosan rannoilla taas Vantaan kaupungin ulkoilualueen käyttäjille tarkoitettuja veneenkiinnityspaikkoja. Lyhyin etäisyys saaren länsirannalta Vuosaaren väylälle on noin 300 m.

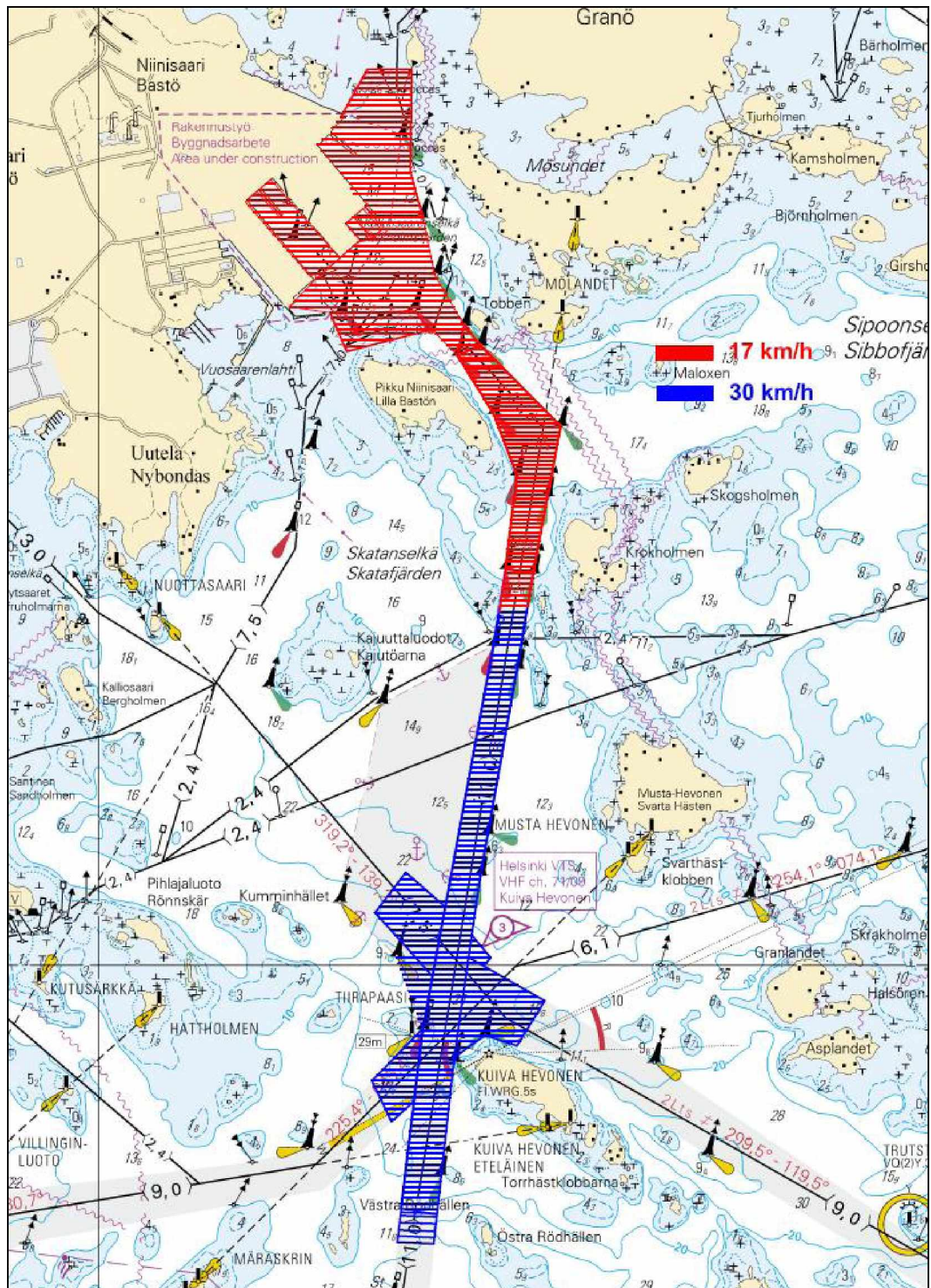
Pikku-Niinisaari sijaitsee vastapäätä Vuosaaren satamaa satama-alueen välittömässä läheisyydessä. Osa saaresta on yksityisessä ja osa Helsingin kaupungin omistuksessa. Alue on yleiskaavassa määritetty virkistys- ja loma-asumisalueeksi. Saaren ranta-alueilla on mökkirantoja ja venelaitureita ja saaren eteläosassa luonnonsuojelualue. Lyhyin etäisyys saaren itäpuolelta Vuosaaren väylälle on noin 250 m.

Mölandet sijaitsee satama-alueen välittömässä läheisyydessä. Saarella on lähinnä yksityistä vapaa-ajan asutusta ja rakennuskanta on ranta-alueilla tiheää. Saaren eteläpuolella on luonnonsuojelualue. Lyhyin etäisyys saaren eteläkärjestä Vuosaaren väylälle on noin 400 m.

Väylän nykyiset nopeusrajoitukset

Vuosaaren väylän nykyisistä nopeusrajoituksista 30 km/h (n. 16 solmua) rajoitusosuus alkaa sisään satamaan ajettaessa Kuiva-Hevosen edustalla olevan Östra Röd-hällenin luodon kohdalta ja jatkuu aina Krokholmenin edustalle saakka. Kuiva-

Hevosen edustalla 30 km/h rajoitus koskee myös Vuosaaren väylän, Etelä-Suomen talviväylän ja Vuosaaren telakan väylän risteysaluetta. Krokholmenin edustalta satamaan saakka väylän nopeusrajoitus on 17 km/h (n. 9 solmua). Väylän nykyiset nopeusrajoitukset on esitetty merikartalla kuvassa 4. Kuvassa esitetty 17 km/h rajoitusalue koskee myös koko satama-aluetta ja alueen poikki kulkevaa veneväylää. Tässä työssä käsitellään ainoastaan Vuosaaren väylän nopeusrajoituksia eikä satama-alueen tai veneväylän nopeusrajoituksiin oteta kantaa.



Kuva 4 Vuosaaren väylän nykyiset nopeusrajoitusalueet (lähde: rannikkokartta nro 18 © Liikennevirasto)

2.3 Nopeusrajoitukset kauppamerenkulun väylällä

Suomen satamien tuloväylät on perinteisesti rakennettu valtion kustannuksella muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Valtiollinen väylänpidon viranomainen vastaa sataman tuloväylästä ja sen ylläpidosta ennalta määrätyle vastuurajalle saakka. Satama-alueen raja on käytännössä usein lähtökohtana vastuurajan määrittämiselle, mutta ei ole kuitenkaan suoraan sidoksissa siihen. Väylänpitäjän ja sataman vastualueet voidaan myös määrittää tapauskohtaisesti erikseen. Esimerkiksi valtion ylläpitämä veneväylä voi kulkea satama-alueen läpi, jolloin valtion väyläviranomainen vastaa väylän ylläpidosta, vaikka se onkin satama-alueella. (Merenkululaitos 2009 c.)

Valtiollisen väylänpitoviranomaisen oikeuksista ja velvollisuuksista määrätään mm. vesiliikennelaissa (463/1996), vesiliikenneasetuksessa (124/1997) ja vesilaissa (264/1961). Vesiliikennelain 4. luvun, 15 § ja 16 §:n perusteella väyläviranomaisella on oikeus määrätä väyläalueilla vesiliikennettä koskevia kieltoja ja rajoituksia. Tällaisia ovat esimerkiksi nopeusrajoitukset, joilla pyritään ehkäisemään vesiliikenteen aiheuttamia ympäristöhaittoja. Kauppamerenkulun väylille nopeusrajoituksia asetettaessa tulee pyrkiä löytämään alusliikenteen ja ympäristön kannalta sopivin rajoitus. Tällöin on otettava huomioon alusliikenteen aiheuttamien ympäristövaikutusten lisäksi sellaiset tekijät, joilla saattaa olla vaikutusta alusten turvalliseen liikkumiseen väylällä. (Liikennevirasto 2010.)

Alukset tarvitsevat tietyn vähimmäisnopeuden, jotta ne voivat säilyttää ohjailukykyänsä väylällä liikkeessaan. Tämä vähimmäisnopeus riippuu aluksen yksilöllisistä ominaisuuksista, väylän ominaisuuksista sekä tuuli- ja virtausolosuhteista. Väylälle ei saa määrätä niin alhaisia nopeusrajoituksia, että alusten liikkuminen väylällä vaarantuu. Kovin alhaisia nopeusrajoituksia ei tulisi myöskään määrätä kuin lyhyille väyläosuuksille. Nopeusrajoitusten tulisi myös olla mahdollisimman yhdenmukaisia siten, että käytettäisiin vain muutamia selkeitä nopeusarvoja. (Liikennevirasto 2010.) Käytännössä kauppamerenkulun väylille asetetut nopeusrajoitukset vaihtelevat kuitenkin hyvin tapauskohtaisesti. Helsingin edustalla Länsisatamaan ja Eteläsatamaan johtaville pääväylille sekä Vuosaaren väylälle on määrätty 30 km/h rajoitusosuuksia, kun taas esimerkiksi Naantalın ja Turun satamiin johtavilla väylillä nopeusrajoitusosuudet ovat 28/22 km/h ja 16/11 km/h.

Jos väylän alusliikenne aiheuttaa haittavaikutuksia, joita ei voida alusturvallisuuden ja liikenteen sujuvuuden nimissä nopeusrajoituksia määräämällä tai niitä alentamalla vähentää, vesilain 4. luvun 8 §:n (264/1961) perusteella julkisen kulkuväylän yleisestä käytöstä aiheutuva vahinko tai edunmenetys voi kuulua väylänpitäjän korvattavaksi. Väylänpitäjä on vastuussa väylästä ja siten myös korvausvelvollinen, mikäli korvausmenettelyyn päädytään. Korvausperusteet ja korvaukset on yleensä määritetty väylän perustamista koskevan vesilupapäätöksen yhteydessä (Merenkululaitos 2009 c). Riita- ja korvausasiat ratkaistaan hallinto-oikeudessa tai edelleen korkeimmassa hallinto-oikeudessa. Tilanteessa, jossa aiheutettu vahinko voidaan kohdentaa tietyn aluksen aiheuttamaksi, aluksen omistaja on tällöin vesilain 1. luvun 25 §:n (264/1961) perusteella korvausvelvollinen.

3 Alusten aiheuttamat aallot, virtaukset ja niiden ympäristövaikutukset

3.1 Taustaa

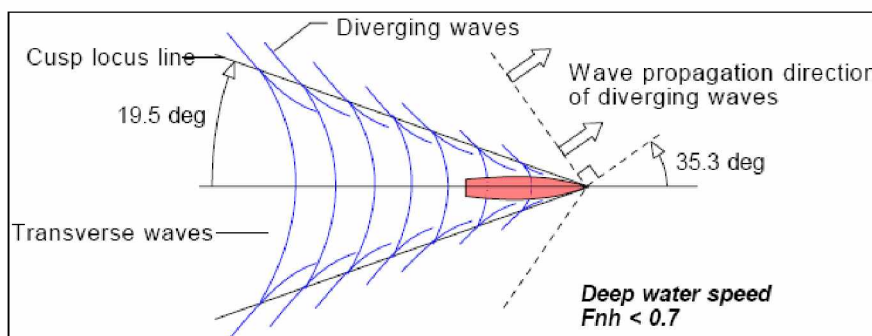
Kyetäkseen etenemään alus joutuu painamaan vettä alleen ja sivuilleen. Liikkuva alus siirtää suurimman osan liike-energiastaan ympäröivään veteen, jolloin vesimassa alkaa liikehtiä aluksen ympärillä eri suuntiin. Alusten muodostamat aaltosysteemit ja virtaukset ovat aluksen liikkuttaessa syrjäyttämän vesimassan liikettä.

Alusten aiheuttamilla aalloilla ja virtauksilla saaristossa on moninaisia ympäristövaikutuksia, jotka voivat kohdistua saaristoympäristön ekologiaan, morfologiaan tai vesien käyttöön (Mädekivi 1995). Tässä esityksessä keskitytään vesien käyttöön kohdistuviin ympäristövaikutuksiin. Alusliikenteen vaikutukset korostuvat usein luonnon aallokelta suojassa olevilla kapeilla saaristoväylillä, joilla suuret alukset ohittavat lähietäisyydeltä väylän varrella sijaitsevat, matalan vesialueen ympäröivät saaret (Rytönen et al. 2002).

3.2 Alusten aiheuttamat aallot

Aluksen aallonmuodostuksen teoria

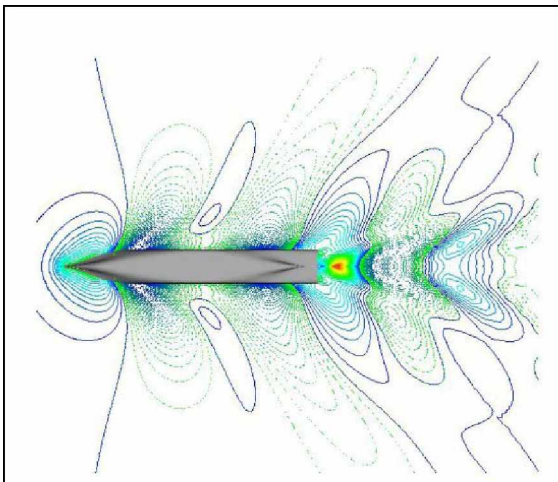
Aluksen aiheuttamaa aaltosysteemiä voidaan kuvata yksinkertaisimmillaan Kelvinin 1800-luvulla kehittämän aaltoteorian avulla. Aaltoteorian mukaan alusta voidaan pitää yksittäisenä painepisteenä, joka aiheuttaa aaltoja kulkiessaan veden pinnassa. Teorian mukaan aaltoja muodostuu kahdenlaisia: aluksen taakse muodostuvia, kulkuunsa nähden poikittaisia aaltoja (transverse waves) ja aluksesta eroavia aaltoja (diverging waves). Aluksesta eroavat aallot muodostavat noin $35,3^\circ$ kulman aluksen liikesuunnan kanssa. Poikittaisten ja eroavien aaltojen aallonharjat kohtaavat suoralla (cusp locus line), joka muodostaa noin $19,5^\circ$ kulman aluksen liikesuunnan kanssa. (Allenström et al. 2003.) Aluksen aiheuttama aaltosysteemi syvässä vedessä Kelvinin teorian mukaan on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5 Aaltojen muodostuminen syvässä vedessä Kelvinin aaltoteorian mukaan (Allenström et al. 2003)

Aluksen aiheuttamalla poikittaisella aaltorintamalla on sama nopeus kuin aluksella. Myös eroavan aaltorintaman nopeuskomponentilla, joka on aluksen liikesuunnan kanssa yhdensuuntainen, on tämä sama nopeus. Todellisuudessa aluksen aallonmuodostusta ei voida täysin selittää Kelvinin teoriolla, sillä aluksen voidaan ajatella koostuvan useammasta kuin yhdestä aaltolähteestä. Liikkuva alus muodostaa aaltoja keula- ja peräosan lisäksi myös rungolla. (Allenström et al. 2003, Rytönen et al. 2002.)

Kuvassa 6 on esitetty ropax-tyyppisen aluksen laskettu aaltokuvio, joka kuvaa aluksen todellista aallonmuodostusta. Runkoaaltojen muodostumista voidaan vähentää keulan muotoilulla. Suurissa aluksissa käytetään usein eräänlaista keulauluketta, ns. bulbia, jonka vaikutuksesta aluksen runkoaaltojen muodostus vähenee, mikä taas pienentää aluksen kokonaisvastusta. Aluksen muodostamat erilaiset aaltosysteemit voivat interferoida keskenään ja näin joko vahvistaa tai heikentää toisiaan. Bulbin toiminta perustuu sen muodostaman keula-aaltosysteemin interferoimiseen runkoaaltosysteemin kanssa, jolloin aluksen kokonaisvastus pienenee. (Matusiak 2010.)



Kuva 6 Nopean, ropax-tyyppisen aluksen laskettu aaltokuvio (Matusiak 2010)

Aluksen aallonmuodostukseen vaikuttavat aluksen runkomuodon lisäksi aluksen pituus, nopeus ja syväys. Aluksen nopeuden ja pituuden vaikutusta aluksen aallonmuodostukseen karakterisoi ns. Frouden pituusluku (F_{NL}) (Rytönen et al. 2002)

$$F_{NL} = V / \sqrt{gL} \quad (1)$$

jossa

V	= aluksen nopeus (m/s)
g	= putoamiskiihtyvyys (9.81 m/s ²)
L	= aluksen vesilinjan pituus (m).

Syvässä vedessä muodostuvan aallon aallonpituus on aluksen nopeuden funktio. Mitä suurempi aluksen nopeus on, sitä suurempi on aallonpituus. Aluksen aallonmuodostus on suurimmillaan, kun alus liikkuu nopeudella, jolla muodostuvan aluksen liikesuuntaa vastaan kohtisuoran aallon pituus on lähellä aluksen vesilinjan pituutta. Tätä nopeutta kutsutaan runkonopeudeksi. (Aage et al. 2003, Rytönen et al. 2002.)

Aluksen syväys tarkoittaa aluksen rungon alaosan suurinta pystysuoraa etäisyyttä vedenpinnan tasosta. Syväys ei ole vakio, vaan se vaihtelee muun muassa aluksen lastin painon, trimmikulman, veden suolapitoisuuden tai veden lämpötilan muuttuessa. Myös aluksen kulkunopeus vaikuttaa aluksen syvyyteen aluksen nopeuspainuman (squat) kautta. Tätä ilmiötä käsitellään myöhemmin. Aluksen uppouma tarkoittaa kelluvan aluksen syrjäyttämän vesimassan painoa. Uppouman suuruuteen vaikuttavat aluksen rungon muoto, pituus, leveys ja syväys. Aluksen aallonmuodostus ei ole suoraan yhteydessä aluksen uppoumaan. Laiva-alan kehityksen myötä on todettu, että esimerkiksi vanhemman sukupolven autolauttojen aallonmuodostus oli nykyäikaisia autolauttoja suurempaa, vaikka nykyaikaiset alukset ovat useassa tapauksessa kokoluokaltaan entisiä aluksia suurempia (Rytkönen et al. 2002).

Edellä esitetty, Kelvinin aaltoteoriaan perustuva alusten aiheuttama aaltosysteemi pätee vain aluksen liikkua syvässä vedessä. Matalassa vedessä aluksen aallonmuodostus poikkeaa siitä merkittävästi. Matalan veden tilannetta karakterisoi alalla hyvin yleisesti käytetty ns. Frouden syvyytluku (F_{NH}) (Rytkönen et al. 2002)

$$F_{NH} = V / \sqrt{gh} \quad (2)$$

jossa

V = aluksen nopeus (m/s)

g = putoamiskiihtyvyys (9.81 m/s²)

h = vesisyvyys (m).

Aluksen nopeuden kasvaessa ja vesisyvyyden pientyessä pohjan kitka alkaa vaikuttaa aluksen aallonmuodostukseen. Tällöin aluksen aiheuttaman aallon korkeus kasvaa, pituus lyhenee ja aaltorintaman eroamiskulma suhteessa alukseen muuttuu. Mikäli Frouden syvyytluku $F_{NH} < \approx 0,7$ veden syvyys ei vaikuta aluksen aallonmuodostukseen (Rytkönen et al. 2002, Allenström et al. 2003). Tavanomaiset alukset, kuten kontti- ja roro-alukset, liikkuvat yleensä syvän veden nopeuden alueella eli $F_{NH} < 0,7$ tai ns. sub-kriittisellä nopeusalueella $0,7 < F_{nh} < 1,0$. (Huesig et al. 1999.) Vuosaaren väylällä alukset liikkuvat nykyisellä nopeusrajoitusalueella väyläalueen syvyys ja alusten nopeudet huomioiden pääasiassa syvän veden nopeuden alueella $F_{NH} < 0,7$.

Alusten aiheuttamien aaltojen arviointia

Alusten aiheuttamien aaltojen karakteristisia ominaisuuksia kuten korkeutta, pituutta ja periodia erilaisilla alusnopeuksilla erilaisissa syvyyssolosuhteissa voidaan arvioida laskennallisesti diplomityössä (Paukkeri 2010) esitettyjen kaavojen avulla. Diplomityössä on myös tarkemmin esitetty, miten aalto käyttäytyy, kun se saapuu matalaan, pohjatopografialtaan vaihtelevaan veteen.

Laiva-aaltojen tiedetään vaimenevan yleisesti suhteessa etäisyyden käänteisluvun neliöjuureen (Rytkönen et al. 2002, Allenström et al. 2003.) Aaltojen vaimentumista etäisyyden kasvaessa havaintopisteeseen voidaan arvioida yhtälöllä (Rytkönen et al. 2002)

$$\frac{H(r)}{H_0} = \left(\frac{r}{r_0} \right)^d \quad (3)$$

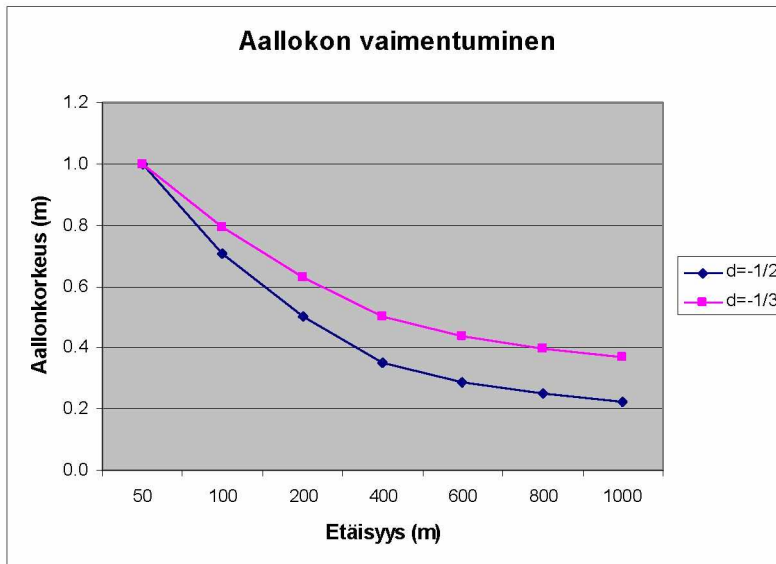
jossa

$H(r)$ = maksimiaallonkorkeus (m) etäisyydellä r (m)

H_0 = referenssiaallonkorkeus (m) etäisyydellä r_0 (m).

Kelvinin teorian mukaan $d=-1/2$ poikittaisille ja $-1/3$ erkaneville aalloille. Potenssia $d=-1/3$ on yleisesti käytetty arvioitaessa uppoumarunkoisten alusten aiheuttamien aaltojen ympäristövaikutuksia. Aaltojen vaimentumista arvioitaessa on suositeltavaa käyttää ylärajana potenssia $d=-1/2$ ja alarajana $d=-1/3$. (Merenkulkulaitos 2005 a.)

Kuvassa 7 on esitetty vaimentumiskuvaaja aallolle, joka on 50 metrin etäisyydellä aluksesta ollut 1,0 m korkea. Kuvaaja perustuu vaimenemisyhtälöön 3 potenssin d arvoilla $-1/2$ ja $-1/3$.



Kuva 7 Laiva-aallon vaimentuminen etäisyyden funktiona

Vaimentumiskuvaajan mukaan syntyhetkellään 1,0 m korkea aalto vaimentuisi puoleen noin 200–400 m etäisyydellä ja aallonkorkeus olisi 1000 m etäisyydellä vielä 0,22–0,37 m. Kuvaajan mukaan aalto vaimentuu alussa suhteellisen nopeasti, mutta etäisyyden kasvaessa vaimentuminen hidastuu.

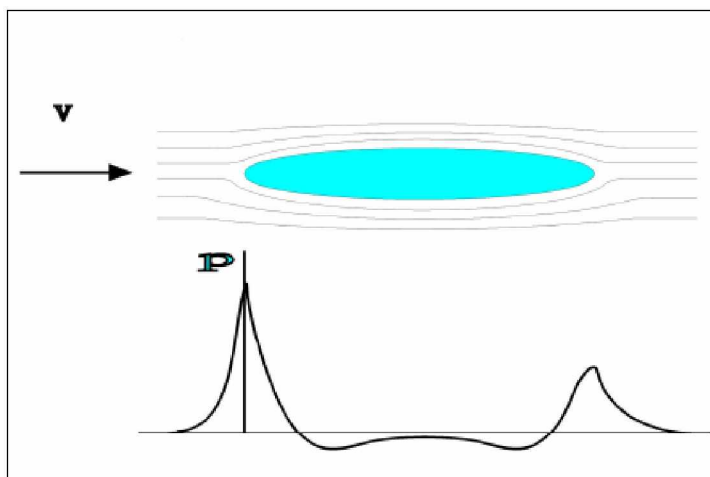
Todellisuudessa alusten aiheuttaman aallokon vaimentuminen voi olla edellä kuvattua nopeampaa, sillä luonnonaallokko voi vaimentaa laiva-aaltoja (Rytönen et al. 2002). Luonnonaallokon vaimentava vaikutus riippuu aallokon voimakkuudesta ja suunnasta suhteessa laiva-aaltoihin. Luonnonaallokon ei sitä vastoin ole todettu merkittävästi vahvistavan laiva-aaltoja interferoimalla niiden kanssa. Sen sijaan kahden tai useamman aluksen yhteisvaikutuksessa alusten aiheuttamien aaltoryhmien on havaittu joissakin tapauksissa vahvistavan toisiaan. (Friman 1989.)

3.3 Alusten aiheuttamat virtaukset

Alus muodostaa liikkeessaan ympärilleen hyvin monimutkaisen virtauskentän. Alusten aiheuttamien ympäristövaikutusten ja tämän tutkimuksen kannalta merkittävimmät virtaukset ovat potentiaalivirtaukset, jotka ilmenevät aallonmuodostuksena, sekä uppoamavirtaukset ja laiva-aaltojen indusoimat virtaukset rantavyöhykkeellä. (Mäkelä 1995.)

Edellä esitettyjen Kelvin-aaltojen lisäksi alus aiheuttaa liikkeessaan ns. Bernoulli-aaltoja. Nämä eivät tarkkaan ottaen ole aaltoja vaan painevaihteluita, jotka synnyttävät virtauksia aluksen ympärille. Bernoulli-aallot muodostuvat, kun uppoamarunkoinen alus syrjäyttää uppoumansa suuruisen vesitilavuuden. Alus työntää edetessään vettä alleen ja sivuilleen ja tämän vesimäärän täytyy kiertää alus. Samalla aluksen perään jää aluksen syrjäyttämän vesimassan vuoksi vajaus, jota lisää vielä potkureiden pyöriessään imemä vesimassa. Tämä vajaus pyrkii täyttymään aluksen lähiympäristöstä. (Rytönen et al. 2002, Allenström et al. 2003.)

Kuvassa 8 on havainnollistettu liikkuvan aluksen ympärille muodostuvaa painejakaumaa. Aluksen keulaan ja perään syntyy ylipaine ja vedenpinnan nousu, kun taas aluksen sivuille syntyy veden virtausnopeuden kasvun takia vedenpinnan alenema. (Rytönen et al. 2002.) Tämä vedenpinnan alenema vaikuttaa osaltaan myös hyvin tunnetun ilmiön, aluksen nopeuspainuman (squat) syntyyn. Tässä ilmiössä alus painuu liikkeessaan sitä syvemmälle, mitä suuremmalla nopeudella se kulkee. Nopeuspainuman suuruuteen vaikuttaa aluksen nopeuden lisäksi myös vesialueen syvyys ja poikkileikkausala sekä aluksen runkomuoto, erityisesti ns. rungon täyteläisyysaste. (Allenström et al. 2003, Merenkulkulaitos 2001.)



Kuva 8 Painejakauma liikkuvan aluksen ympärillä (Allenström et al. 2003)

Bernoulli-aaltojen synnyttämiä virtauksia kutsutaan uppoamavirtauksiksi. Nämä virtaukset voidaan jakaa paine- ja imuvaikutukseen. Aluksen kulkiessa vesimäärältään rajoitetussa uomassa, esimerkiksi kanavassa tai kapeassa ja matalassa salmessa, alus voi aiheuttaa paine- ja imuvaikutuksellaan suuria vedenpinnan korkeusvaihteluita lähiympäristössään. (Rytönen et al. 2002.)

Aluksen lähestyessä tarkastelukohtaa voidaan rannalla havaita jo kaukaa pieni vedenpinnan nousu. Aluksen ollessa lähellä tarkastelukohtaa havaitaan suurempi vedenpinnan nousu (painevaikutus), joka on yleensä voimakkaimmillaan aluksen keulan tullessa suoraan tarkastelupisteen kohdalle. Vedenpinnan nousun jälkeen seuraa nopea pinnan alenema (imuvaikutus, drawdown), jolloin myös virtaussuunta muuttuu rannasta pois päin (takaisinvirtaus). Suurin vedenpinnan alenema havaitaan yleensä aluksen perän ohittaessa tarkastelukohdan. Vedenpinnan aleneman jälkeen seuraa jälleen pinnan nousu, joka on suuruudeltaan noin puolet havaitusta maksimaalisesta pinnan alenemasta. Kun alus on ohittanut tarkastelukohdan, vedenpinta rannassa heilahtelee edestakaisin virtaussuunnan muuttuessa rantaa kohden ja rannasta pois päin. Vedenpinnan heilahtelu ja virtaushäiriö rannan tuntumassa voi jatkua rannan pohjaolosuhteista riippuen vielä useita minuutteja aluksen ohituksen jälkeen. (Allenström et al. 2003, Rytönen et al. 2001.)

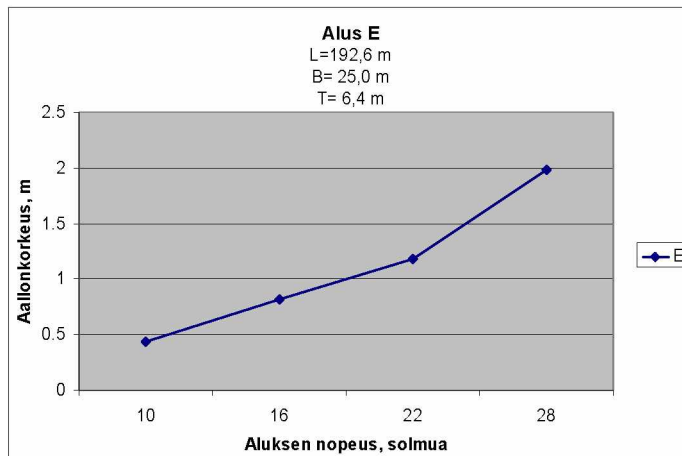
Rantaan kulkeutuvat laiva-aallot voivat indusoida suhteellisen voimakkaita virtauksia rantavyöhykkeellä. Virtaukset ovat tavallisesti voimakkaimmillaan kohdassa, jossa aallot murtuvat. Mitä korkeampi ja pidempi aalto on, sitä suurempia virtausnopeuksia se aiheuttaa. Virtausvaikutus kohdistuu myös syvemmälle kuin matalammilla ja lyhyemmillä aalloilla. Pohjatopografia ja rannan muoto vaikuttavat myös aallokon aiheuttaman virtaushäiriön keston. Jyrkkärantaisissa pienissä lahdissa tai laguuneissa vedenpinta voi aaltojen vaikutuksesta jäädä heilahtelemaan ”pumpaten” edestakaisin, jolloin rantaveteen indusoituu hyvin hitaasti vaimentuvia pyörteisiä virtauksia. (Rytönen et al. 2002.)

3.4 Laiva-aaltojen ja virtausten arviointimenetelmät

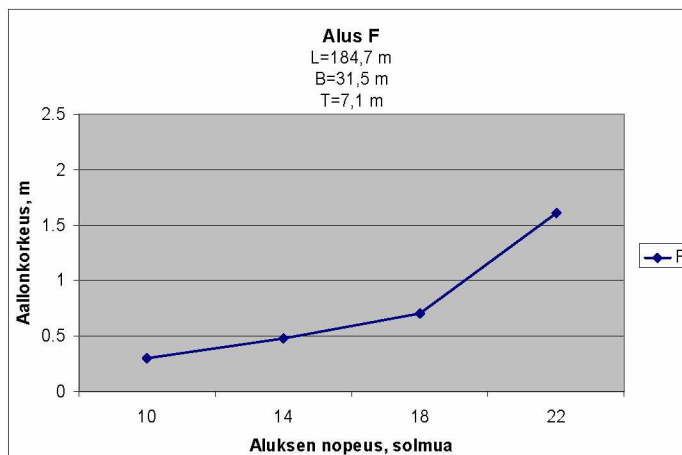
Alusten aiheuttamia aaltoja ja virtauksia voidaan tutkia teoreettisen tarkastelun lisäksi mallikokeilla, maastomittauksilla ja numeerisiin menetelmiin pohjautuvilla tietokonesimuloinneilla. Mallikokeissa alusten aallonmuodostusta ja uppoumavirtausten aiheuttamaa vedenpinnan alenemaa voidaan tutkia laivalaboratorioiden koealtaisissa aluspienoismallien avulla. Maastomittauksilla voidaan arvioida alusten aiheuttamia aaltoja ja virtaushäiriöitä paikallisissa oloissa. Simuloinneissa aallonmuodostusta, aaltojen kulkeutumista ja virtauksia voidaan tutkia tietokonemallinnukseen perustuvilla ohjelmilla. Simulointeja ei käsitellä tässä tarkemmin.

Mallikokeet

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) laivalaboratoriossa on tehty mallikokeita (Rytönen et al. 2002), joissa tutkittiin autolauttojen aiheuttamaa aallonmuodostusta kapeilla saaristoväylillä. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty mallikoetuloksia aluksen aiheuttaman aallon korkeudesta aluksen nopeuden funktiona. Aallonkorkeus on molemmille aluksille (alukset E ja F) mitattu 50 metrin etäisyydellä aluksen keskilinjasta. Vesisyvyysinä kokeissa käytettiin 15 ja 30 metriä.



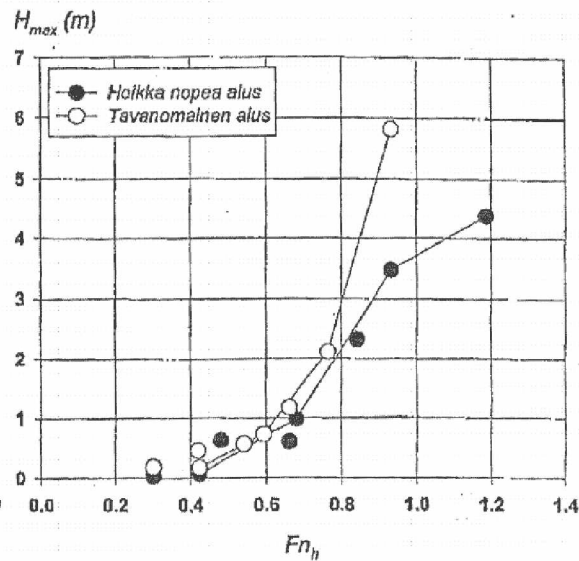
Kuva 9 Aallonkorkeus nopeuden funktiona alus E



Kuva 10 Aallonkorkeus nopeuden funktiona alus F

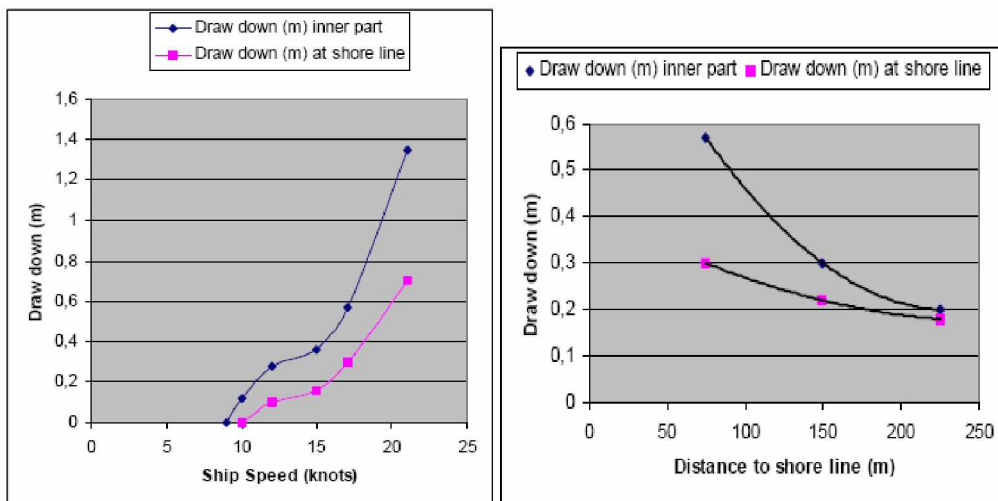
Kuvien perusteella voidaan todeta, että aallonkorkeus riippuu merkittävästi aluksen nopeudesta. Alusten muodostaman aallon korkeus alusten lähellä noin 10 solmun nopeuksilla vaihtelee välillä 0,3–0,45 m. Nopeuksilla 18–19 solmua aallonkorkeus on jo metrin luokkaa. Aallonkorkeus kasvaa melko tasaisesti aluksesta riippuen noin 18–22 solmun nopeuteen saakka. Kun Frouden syvyysluku F_{NH} lähenee arvoa 0,7, aallonkorkeus alkaa kasvaa voimakkaasti nopeuden lisääntyessä.

Kuvassa 11 on esitetty VTT:n suorittamien eräiden toisten mallikokeiden tulokset laiva-aallon korkeudelle Frouden luvun F_{NH} funktiona. Tulokset on esitetty nopealle matkustaja-alukselle ja ropax-alukselle matalassa vedessä.



Kuva 11 Maksimiaallonkorkeus 50 metrin etäisyydellä aluksen keskilinjasta matalassa vedessä (Rytönen et al. 2002)

Aluksen uppoumavirtauksen aiheuttamaa vedenpinnan korkeuden alenemaa (draw-down) rannan tuntumassa on tutkittu mallikokeilla Ruotsin johtavan meritekniikan konsulttiyhtiö SSPA:n laboratoriossa (Allenström et al. 2003). Mallikokeissa tutkittiin tavanomaisen ropax-aluksen aiheuttamaa vedenpinnan alenemaa neliönmuotoisessa, todellisuudessa 148 m x 148 m kokoisessa lahdessa aluksen sivuuttaessa lahden eri nopeuksilla ja etäisyyksillä. Kokeissa käytetty aluspienoismalli vastaa todellisuudessa 194,4 m pitkää, 28,4 m leveää ja 6,6 m syväyksistä ropax-alusta (vrt. s. 17, taulukko 1, ropax-alus Superfast VII). Kuvassa 12 on esitetty vedenpinnan alenema lahden sisäosassa ja lahden suulla nopeuden (vasen) ja ohitusetäisyyden funktiona 17 solmun ohitusnopeudella (oikea).



Kuva 12 Vasemmalla vedenpinnan alenema aluksen nopeuden funktiona 75 m etäisyydellä. Oikealla vedenpinnan alenema ohitusetäisyyden funktiona ohitusnopeudella 17 solmua. (Allenström et al. 2003)

Kuvan 12 (vasen) perusteella aluksen nopeudella on merkittävä vaikutus vedenpinnan alenemaan. Alle 9 solmun nopeudella alenemaa ei havaita lainkaan. Nopeusvälillä 9–12 solmua pinnan alenema kasvaa lähes lineaarisesti nopeuden kasvaessa, välillä 12–15 solmua pinnan aleneman kasvunopeus hidastuu ja voimistuu jälleen nopeuden kasvaessa yli 15 solmuun. Merkittävä havainto kokeiden aikana oli, että vedenpinnan alenema oli suurempaa lahden sisäosassa kuin lahden suulla aluksen ohitusetäisyyden ollessa pieni. Vedenpinnan alenema on kuvan mukaan lahden sisäosassa nopeudesta riippumatta noin kaksinkertaista lahden suuhun verrattuna, kun alus ohittaa lahden 75 metrin etäisyydellä.

Vedenpinnan alenema on kuvan 12 (oikea) mukaisesti myös voimakkaasti riippuvainen aluksen ohitusetäisyydestä. Kuvan perusteella vedenpinnan alenema lahdessa vähenee alussa suhteellisen nopeasti ohitusetäisyyden kasvaessa, mutta vähenemisnopeus hidastuu suuremmilla etäisyyksillä. Kun ohitusetäisyys kasvaa, myös ero vedenpinnan alenemassa lahden suun ja sisäosan välillä kaventuu. Etäisyyden ollessa 225 m ero on jo lähes merkityksetön. Koealtaan rajoituksista johtuen maksimaalinen mallinnettu ohitusetäisyys kokeissa oli 225 m.

Maastotutkimukset

Maastotutkimuksia, jotka käsittelevät alusliikenteen aalto- ja virtausvaikutuksia saaristoväylillä, on tehty lähes yksinomaan Suomessa ja Ruotsissa. Tutkimukset ovat tyypillisesti keskittyneet Suomen ja Ruotsin välisen autolauttaliikenteen vaikutuksiin. Ruotsissa päähuomio on yleensä kohdistunut saaristoväylillä kulkevan alusliikenteen osallisuuteen rantojen eroosioprosessissa. Suomen saaristossa rannat ovat usein kalliorantoja ja eroosio näin Ruotsin saaristoa vähäisempää (Rytkönen et al. 2002). Suomessa tutkimukset ovatkin usein kohdistuneet alusliikenteen aiheuttamien aaltojen ja virtausten biologisiin vaikutuksiin.

Friman (1989) on tutkinut autolauttojen aiheuttamia aaltoja, virtauksia ja vedenpinnan korkeusvaihteluita Turun saaristossa Turkuun johtavan laivaväylän varrella. Mittauksissa havaittiin 500 m etäisyydellä väylästä pienemmillä autolautoilla 16–17 solmun nopeuksilla maksimissaan 0,45–0,55 m korkeita aaltoja. Suuremmilla 18–20 solmun nopeuksilla havaittiin jopa 0,90 m korkeita aaltoja. Toisessa mittauskohteessa, jonka etäisyys väylälle oli noin 1600 m, vastaavat maksimaaliset aallonkorkeudet olivat alle puolet edellisistä. Mittauksissa havaitut vedenpinnan korkeusvaihtelut olivat vähäisiä, mikä johtuu todennäköisesti suhteellisen suurista vesisyvyyksistä mittauskohteissa ja kohteiden suurista etäisyyksistä väylältä. Sen aikaiset autolautat olivat myös uppoumaltaan nykyisiä huomattavasti pienempiä, mikä voi osaltaan selittää vähäiset vedenpinnan korkeusvaihtelut.

Rytkönen et al. (2001) on tutkinut nykyaikaisten autolauttojen aiheuttamia aalto- ja virtaushäiriöitä Turun Airstolla. Mittauskohteessa, jonka etäisyys laivaväylälle oli noin 650 m havaittiin autolauttojen ohitusten aikana alusnopeuksilla 15–20 solmua maksimissaan 0,30–0,60 m korkeita aaltoja rannan tuntumassa. Suurimpien aaltojen periodit vaihtelivat välillä 1,5–4,0 s. Toisessa mittauskohteessa, jonka etäisyys laivaväylälle oli noin 550 m havaitut maksimaaliset aallonkorkeudet noin 12 solmun nopeuksilla olivat noin 0,40 m ja periodiltaan 5–6 s. Alusten ohitusten aikainen vedenpinnan alenema rannan tuntumassa oli maksimissaan 0,20 m.

Granath (2007) on tutkinut Tukholman saaristossa Tukholmaan johtavan väylän varrella olevien saarten rannoilla autolauttaliikenteen aiheuttamia aaltoja ja vedenpinnan alenemaa kahdeksassa eri mittauskohteessa. Tutkimuksissa mitattiin 35:n eri aluksen vaikutuksia, kaiken kaikkiaan alusohituksia oli noin 250. Mittauksissa havaittiin 150 metrin etäisyydellä laivaväylästä alusnopeuksilla 8–12 solmua maksimissaan 0,25–0,35 m korkeita aaltoja. Mittauskohteessa, jonka etäisyys väylälle oli noin 300 m, havaittiin alusnopeuksilla noin 16 solmua maksimissaan 0,5 m korkeita aaltoja. Alusten aiheuttama vedenpinnan alenema rannan tuntumassa vaihteli mittauskohteesta riippuen välillä 0,1–1,0 m.

Tutkimuksessa Granath (2007) havaittiin autolauttaliikenteen voivan aiheuttaa huomattavan suuria vedenpinnan korkeusvaihteluita ja aaltoja väylän varrella olevien saarten rantojen tuntumassa. Rantaan kulkeutuneiden laiva-aaltojen korkeuteen ja vedenpinnan aleneman voimakkuuteen todettiin vaikuttavan mittauskohteen etäisyys väylältä, vesisyvyys mittauskohteessa ja sen lähiympäristössä sekä aluksen ajosuunta. Alusten ohitusnopeuden vaikutuksesta laiva-aaltojen korkeuteen ja vedenpinnan alenemaan ei voitu sen sijaan vetää tarkempia johtopäätöksiä, sillä mittauspisteiden syvyysolosuhteet poikkesivat huomattavasti toisistaan ja samassa mittauspisteessä alusnopeudet olivat aina likimain samaa luokkaa. Tutkimuksessa havaittiin alusten aallonmuodostuksen olevan myös hyvin yksilöllistä, eikä se välttämättä ollut suoraan verrannollinen aluksen kokoon.

3.5 Alusten aiheuttamien aaltojen vertailu luonnonaallokkoon

Luonnonaallokko syntyy, kun tuuli puhalttaa pitkin veden pintaa ja luovuttaa liike-energiaansa veteen, jolloin vesi alkaa virrata. Vedenpintaan syntyy pyörteisyttä, mikä taas aiheuttaa paine-eroja, jolloin sileä vedenpinta rikkoutuu. Tuuli pääsee tarttumaan näihin vedenpinnan epätasaisuuskohtiin, jolloin vesi alkaa aaltoilla. (Itämeriportaali 2010.) Aallossa vesipartikkelit liikehtivät ylösalas ympyrän tai ellipsin muotoista orbitaalirataa pitkin. Vesimassa ei siis varsinaisesti liiku aaltojen mukana eteenpäin. Luonnonaaltojen yhteydessä voi tosin esiintyä niin sanottua massakulkeutumista, jossa vesimassa liikkuu hitaasti aaltojen mukana (Friman 1989). Luonnonaallot eroavatkin syntyvaltaan erilaisista laiva-aalloista erityisesti vesimassan kulkeutumisessa, sillä laiva-aaltojen mukana vesimassa liikkuu aaltojen mukana eteenpäin. (Madedivi 1993.)

Luonnonaallokon muodostumiseen ja aallokon ominaisuuksiin vaikuttavia keskeisiä tekijöitä ovat tuulen nopeus, vaikutusaika ja pyyhkäisymatka. Myös vesialueen muoto ja syvyys vaikuttavat aallokon ominaisuuksiin. (Tuomi et al. 2010.) Otolliset olosuhteet voimakkaan luonnonaallokon syntymiselle ovat, kun pitkäkestoinen, kova tuuli pääsee puhaltamaan laajalla avoimella vesialueella. Saaristo-olosuhteissa suuria ja avoimia selkiä ei useinkaan ole, vaan lukuisat saaret, luodot ja karikot heikentävät luonnonaallokon muodostumista.

Luonnonaallokko on luonteeltaan epäsäännöllistä. Aallokko koostuu eri pituisista ja korkuisista aalloista ja aaltoryhmistä. Luonnossa esiintyy usein myös ns. ristiaallokkoa, jossa eri suuntaan etenevät aaltoryhmät kohtaavat ja sekoittuvat keskenään. Aallokon suunta ei aina ole myöskään sama kuin tuulen suunta. Esimerkiksi Suomenlahden keskiosassa aallokon suunta voi poiketa jopa 50 ° tuulen suunnasta. (Tuomi et al.

2010) Aallokon muodostumista voidaan nykyisin arvioida jo hyvin tarkasti ns. kolmannen sukupolven aaltomalleilla, joilla voidaan laskea aallokon korkeus ja suunta halutussa paikassa alueen tuulitietojen avulla. Ennusteet tuulen nopeuksista ja suunnista saadaan sääennustemalleista. (Ilmatieteenlaitos 2010.)

Luonnonaallokon korkeutta kuvataan yleisesti merkitsevällä aallonkorkeudella $H_{1/3}$ (tai H_s), joka kuvaa tietyn aaltospektrin aallonkorkeuksien korkeimman 33 % keskiarvoa (Rytönen et al. 2002). Merkitsevä aallonkorkeus vastaa suurin piirtein kokeneen merenkulkijan arvioimaa keskimääräistä aallonkorkeutta. Korkein yksittäinen aalto on likimain kaksinkertainen merkitsevään aallonkorkeuteen verrattuna (Tuomi et al. 2010).

Luonnonaallokon karakteristisia ominaisuuksia, kuten merkitsevää aallonkorkeutta ja huippuperiodia voidaan arvioida diplomityössä (Paukkeri 2010) esitettyjen, kirjallisuudesta löydettyjen luonnonaallokon arvioimiseksi kehitettyjen kaavojen ja nomogrammien avulla. Näitä arvioita voidaan verrata arvioihin ja havaintoihin alusten aiheuttamista aalloista. Luonnonaallokolla ja alusten aiheuttamilla aalloilla on kuitenkin useita eroavaisuuksia niin aaltojen syntyvän, kulkeutumisen kuin niiden aiheuttamien ympäristövaikutustenkin kannalta. Saaristo-olosuhteissa, joissa tuulen yhtäjaksoinen pyyhkäisy matka on tyypillisesti suhteellisen lyhyt, luonnonaallokon periodi jää myös lyhyeksi (n. 1–4 s). Laiva-aallot taas ovat alustyyppistä, nopeudesta ja pohjaolosuhteista riippuen tavanomaisilla aluksilla periodiltaan yleensä 3–5 s, nopeilla aluksilla periodi voi olla jopa yli 10 s. Laiva-aaltojen kulkeutumisnopeus on noin kaksi kertaa suurempi kuin samankorkuisilla luonnonaalloilla. Laiva-aallot voivat myös pidemmän periodinsa ja suuremman kulkeutumisnopeutensa sekä sitä kautta suuremman energiansa vuoksi vaikuttaa voimakkaammin rantavyöhykkeellä kuin samankorkuiset luonnonaallot. Aallon nousu rannalle (run-up) on voimakkaampaa aalloilla, joilla on pitkä periodi kuin yhtä korkeilla mutta lyhyempiperiodisilla aalloilla. Kun aalto saapuu matalaan veteen, pohja alkaa vaikuttaa pidempiperiodiseen aaltoon aikaisemmin kuin lyhytperiodiseen ja pidempiperiodinen aalto ehtii näin kasvaa korkeammaksi. (Allenström et al. 2003.)

3.6 Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset

Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset voidaan jakaa ekologiaan, morfologiaan ja vesien käyttöön kohdistuviin vaikutuksiin. Ekologiset vaikutukset voivat ilmetä esimerkiksi kalojen kudun häiriintymisenä, mikä voi johtaa kalakantojen pienentymiseen vesialueella. Morfologiset vaikutukset voivat ilmetä pohjasedimentin kulkeutumisesta johtuvana rantojen eroosiona tai satamien liettymisenä. Vesien käyttöön kohdistuvat vaikutukset voivat aiheuttaa vahinkoa rakennetulle ympäristölle tai omaisuudelle ranta-alueilla tai vaikeuttaa ranta-alueiden asutus- ja virkistyskäyttöä. (Madedivi 1995, Rytönen et al. 2002.) Tässä esityksessä keskitytään vesien käyttöön kohdistuviin ympäristövaikutuksiin.

Venesatamien ja -laiturien käyttö ja veneiden kiinnitys

Venesatamat ja -laiturit pyritään tavallisesti suojaamaan luonnonaallokolta aallonmurtajilla, mutta alusten aiheuttamat, luonnonaallokkoa suurempiperiodiset aallot voivat joissain tapauksissa kantautua satamiin suojauksista huolimatta (Aage et al.

2003). Alusten uppoamavirtauksista aiheutuvia vedenpinnan korkeusvaihteluista rannan tuntumassa ei voida estää rakentamalla aallonmurtajia tai muita suojarakenteita. Alusten aiheuttamat aallot ja uppoamavirtaukset voivat vaikeuttaa venesatamien ja laitureiden käyttöä varsinkin satamissa, jotka ovat aiemmin olleet suojassa alusliikenteen vaikutuksilta.

Tilanteessa, jossa alusten aiheuttamat aallot pääsevät kantautumaan venesatamaan saakka, laitureihin kiinnitetyt veneet alkavat liikkua kiinnitysköysissään ja voivat hankautua laituria, rantakiviä tai toisiaan vasten. Lähekkäin kiinnitettyjen purjeveneiden mastot saattavat iskeytyä vastakkain ja vaurioitua veneiden heilahdellessa puolelta toiselle (Madedivi 1993). Voimakkaat aallot voivat joissain tapauksissa aiheuttaa laituriin kiinnitetynä olevan veneen kaatumisen ja uppoamisen.

Suurten alusten aiheuttamat uppoamavirtaukset voivat indusoida venesatamiin laitureiden edustoille voimakkaita pyörteisiä virtauksia, jotka liikuttavat laitureihin kiinnitettyjä veneitä ja saavat veneet ”tempomaan” kiinnitysköysissään. Jos veneet on kiinnitetty kiinteästi pohjaan tukeutuvaan laituriin, eikä laituri pääse vapaasti liikkumaan vedenpinnan korkeusvaihteluiden mukana, veneiden kiinnitysköysiin voi kohdistua voimakasta kuormitusta. Voimakkaan imuvaikutuksen aiheuttama vedenpinnan lasku voi aiheuttaa matalassa rannassa kiinnitetynä olevan veneen pohjakosketuksen. Tämä voi olla erityisen haitallista purjeveneille, joiden köli voi pohjakosketuksessa vaurioitua.

Suurten alusten aallonmuodostuksen ja virtausvaikutusten takia pienveneiden lähtö venesatamasta tai sinne saapuminen voi vaikeutua. Alusten aiheuttamat aallot ja voimakkaat virtaukset voivat vaikeuttaa pienveneen hallintaa ja laiturista lähtö tai siihen kiinnittyminen voi tuottaa ongelmia. Kun alus kulkee väylällä venesataman ohitse, satamaan tulo tai sieltä lähteminen voi samanaikaisesti olla mahdotonta.

Monissa saariston saarissa käy varsinkin kesäaikana saarten paikallisten kesäasukkaiden lisäksi paljon retkeilijöitä ja ulkoilijoita omilla pienveneillään. Monet heistä tuntevat paikalliset olosuhteet huonosti. Kun keli on tyyni ja luonnonaallokko vaimeaa, väylällä liikkuvan aluksen aiheuttama laiva-aalto voi tulla yllätyksenä ja aiheuttaa vahinkoa olosuhteisiin nähden riittämättömästi tai sopimattomaan paikkaan kiinnitetylle veneelle.

Laiturirakenteet

Pienvenelaiturit voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: kelluviin ja kiinteisiin laitureihin. Kelluvissa laitureissa on yleensä puurakenteinen kansiosa, joka kelluu muovi-, teräs- tai betoniponttoonien varassa. Kelluvat laiturit ankkuroidaan pohjaan tyypillisesti betonipainoihin kiinnitetyillä kuumasinkityillä teräsketjuilla tai suoraan pohjaan tukeutuvilla paaluilla tai pilareilla. Kelluvat laiturit liikkuvat vedenpinnan korkeusvaihteluiden mukana, joten niihin kiinnitettyjen veneiden kiinnitysköysiin ei kohdistu suurta rasitusta. (Suomen kaupunkiliitto 1981.) Kelluvien laitureiden ankkurointiin sen sijaan voi kohdistua kovaa rasitusta vedenpinnan korkeuden vaihdellessa (Madedivi 1993).

Kiinteät laiturit voidaan valaa joko suoraan pohjaan tai ne voidaan tukea pohjaan esimerkiksi betonirenkailla tai -paaluilla. Kiinteät laiturit voivat olla myös niin ns. pistolaitureita, joissa laiturin toinen pää tuetaan rantaan ja toinen pää esimerkiksi paaluilla tai pilareilla pohjaan. (Suomen kaupunkiliitto 1981.) Suoraan pohjaan valetut

massiiviset kiinteät laiturit on yleensä suunniteltu kestämaan veden- ja jäänliikkeiden aiheuttamaa kuormitusta. Voimakkaat alusten aiheuttamat virtaukset voivat syövyttää laitureiden perustuksia, jos virtausnopeudet pohjan tuntumassa ovat suuria ja maa-aines riittävän hienorakeista kulkeutuakseen virtausten mukana.

Jäätälvinä laiturirakenteisiin voi kohdistua voimakasta räsytystä, mikäli laituria ympäröivä jääkenttä liikkuu alusten uppoamavirtausten aiheuttamien vedenpinnan korkeusvaihteluiden mukana (Madedivi 1993). Kiinteät laiturit kestävät massiivisuutensa vuoksi tavallisesti kelluvia laitureita paremmin jäiden liikkeiden aiheuttamaa räsytystä. Ainakin pienemmät kelluvat laiturit nostetaan yleensä talven ajaksi maihin.

Rantojen asutus- ja virkistyskäyttö

Saarten ranta-alueita ja niiden lähivesiä käytetään saaristossa varsinkin kesäaikana vapaa-ajan virkistystoimintaan. Tyypillistä virkistystoimintaa on esimerkiksi oleskelu rannoilla, veneily, uiminen, retkeily ja ulkoilu sekä harrastekalastus. Jos rannan edustalla kulkee laivaväylä, väylällä liikkuvien alusten aiheuttamat aallot ja virtaukset voivat heikentää rannan ja sen läheisyydessä olevan vesialueen virkistyskäyttömahdollisuuksia. Suuret laiva-aallot voivat vaikeuttaa uimista rantavyöhykkeellä ja voimakkaan imuvaikutuksen aiheuttamat virtaukset voivat aiheuttaa vaaratilanteita vedessä leikkiville pienille lapsille. Laiva-aallot voivat vaikeuttaa pienveneiden kurssin säilyttämistä ja keikuttaa veneitä voimakkaasti. Aallot ja virtaukset voivat myös vahingoittaa kalastajien pyydyksiä ja vaikeuttaa niiden kokemista.

Alusliikenteen aaltojen ja virtausten vaikutus voidaan kokea rantakiinteistöjen käyttömahdollisuuksien vaikeutumisena ja kiinteistöjen arvon alentumisena (Madedivi 1993). Rantakiinteistöä, joka sijaitsee lähellä tiheästi liikennöityä laivaväylää, voitaneen verrata kiinteistöön, joka on vilkasliikenteisen maantien varrella. Osa kiinteistön arvosta muodostuu kiinteistön sijaintipaikasta, ja yleensä rauhallista ja häiriötöntä sijaintia arvostetaan häiriöille alttiina olevaa paikkaa enemmän. Rantakiinteistöt ovat varsinkin saarissa useimmiten lomailu- ja muussa vapaa-ajanviettokäytössä, jolloin vaatimukset kiinteistön lähiympäristön rauhallisuudelle lisääntyvät.

Saaristoelämään on aina kuulunut merenkulku ja monentyyppinen alusliikenne. Alusliikenteestä, kuten liikenteestä yleensäkin, syntyy väistämättä erilaisia haittavaikutuksia. Kysymys kuuluu, ovatko haittavaikutukset olleet olemassa jo kauan, jolloin niihin ollaan totuttu ja niihin osataan varautua, vai ovatko haitat lisääntyneet hiljattain esimerkiksi uuden väylän rakentamisen tai väylän linjauksen muutoksen myötä. Alusliikenteen häiriön kokemista voidaan pitää myös hyvin subjektiivisena. Toiset asukkaat kokevat rahtilaivojen ohitukset häiriötekijöiksi, kun taas toiset katselevat laivoja mielellään ja heidän mielestään ne kuuluvat luonnollisena osana saaristoelämään.

4 Maastotutkimukset

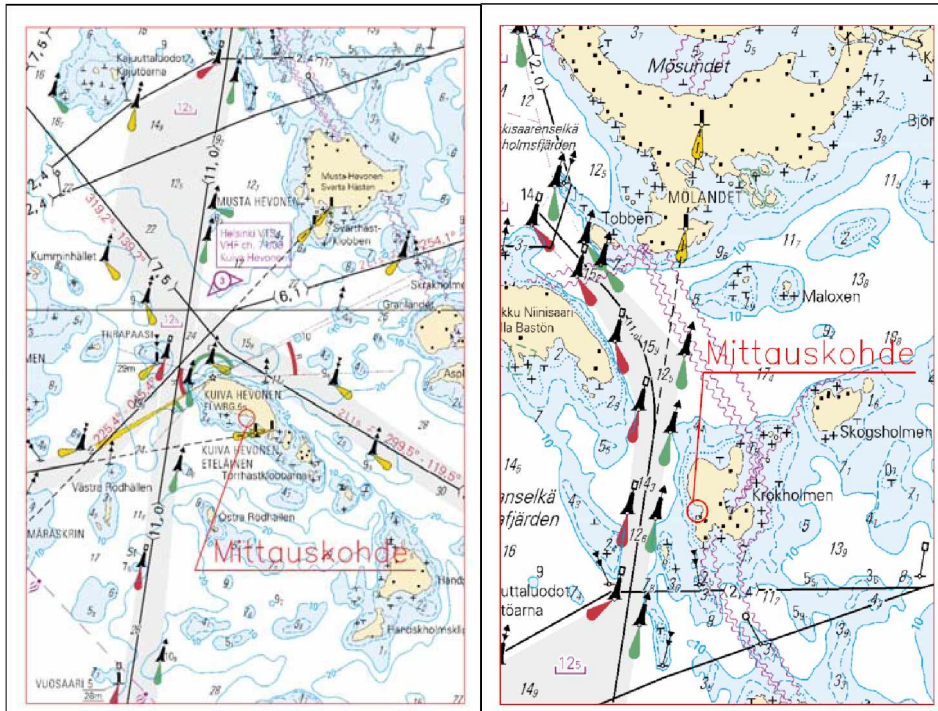
4.1 Mittauskohteet ja -menetelmät

Maastotutkimuksissa mitattiin Vuosaaren väylällä liikkuneiden rahtialusten aiheuttamia vedenpinnan korkeusvaihteluja, aallokkoa ja virtauksia kahdessa mittauskohteessa väylän varrella. Tutkimukset suoritettiin ajanjaksoilla 25.6. ja 29.6.2009 sekä 10.-11.5. ja 18.5.2010.

Viiden mittauspäivän aikana mitattiin yli 50 aluksen ohitusten aikaisia vaikutuksia. Mittausten aikana tehtiin yhteistyötä Finnlines-varustamon kanssa. Varustamon Starluokan suurten ropax-alusten toivottiin ohittavan mittausten aikana mittauskohteet tietyillä, ennalta määrätyillä nopeuksilla. Muiden varustamoiden roro- ja konttialukset sekä Finnlines-varustamon roro-alukset liikkuivat mittausten aikana mittauskohteiden kohdalla ennalta määräämättömillä nopeuksilla. Nämä nopeudet olivat lähes poikkeuksetta hyvin lähellä väylän nykyisiä nopeusrajoituksia. Mittauskohteiden ohitusten aikaiset alusten nopeudet ja syväykset tarkistettiin jälkikäteen alusten ilmoittamista AIS-tiedoista VTS:n videotallenteiden ja meriliikennettä reaaliaikaisesti seuraavan internetpalvelun (www.marinetraffic.com) kautta.

Mittauskohteet

Mittauskohteiksi valittiin Kuiva-Hevosen saaren eteläpuolen venesatama ja Krokholmenin saaren länsipuolen mökkiranta. Mittauskohteet on esitetty merikartalla kuvassa 13.



Kuva 13

Vasemmalla Kuiva-Hevosen ja oikealla Krokholmenin mittauskohde
(lähde: rannikkokartta nro 18 © Liikennevirasto)

Kuiva-Hevosen eteläpuolen venesatama (kuva 14) sijaitsee laguuninmallisessa lahdessa. Väylällä liikkuvat alukset ohittavat venesataman noin 750 m etäisyydeltä. Satama on vesisyvyydeltään melko matala. Laiturien edustalla vesisyvyys vaihtelee 0,5–1,0 metrin välillä, muualla vettä on 1–3 m. Venesatamasta väylän suuntaan vesisyvyys lisääntyy, mutta suhteellisen matala, 5–10 m syvyinen vesialue ulottuu jopa 250 m etäisyydelle rannasta. Venelaitureita satamassa on kaikkiaan noin 15. Laiturit ovat tyypillisesti puurakenteisia kiviarkkulaitureita. Venesatamaa ja sen ranta-aluetta käytetään veneiden säilytyksen lisäksi yleiseen oleskeluun ja uimiseen.



Kuva 14 Vasemmalla venesataman laitureita. Oikealla näkymä venesatamasta merelle.

Krokholmenin mökkiranta (kuva 15) sijaitsee Krokholmenin saaren länsipuolella pienessä lahdessa. Lyhin etäisyys mökkirannasta Vuosaaren väylän keskilinjalle on alle 400 m. Vesisyvyys rannan tuntumassa ja laitureiden edustalla on 1–2 m, keskemällä lahtea syvyyttä on 2–3 metriä. Mökkirannan ja väylän välisen vesialueen vesisyvyys vaihtelee 5–15 metrin välillä. Krokholmenin edustalla väylä kulkee kapeikossa, joka on muodostunut, kun väyläalueella sijainnut matalikko ruopattiin väylän rakentamisen yhteydessä pois. Mökkirantaa käytetään veneiden säilytyksen lisäksi yleiseen oleskeluun ja uimiseen.



Kuva 15 Vasemmalla mökkirannan puurakenteinen laituri. Oikealla aallonmurtajan suojaama laguuni.

Mittauslaitteet

Alusten ohitusten aikaisia vedenpinnan korkeusvaihteluja rannan tuntumassa mitattiin vedenkorkeuden mitta-asteikolla (kuva 16 vasen). Asteikko asetettiin pohjaan haluttuun mittauspaikkaan, vedenpinnan nollakohta mitta-asteikossa merkittiin ylös ja

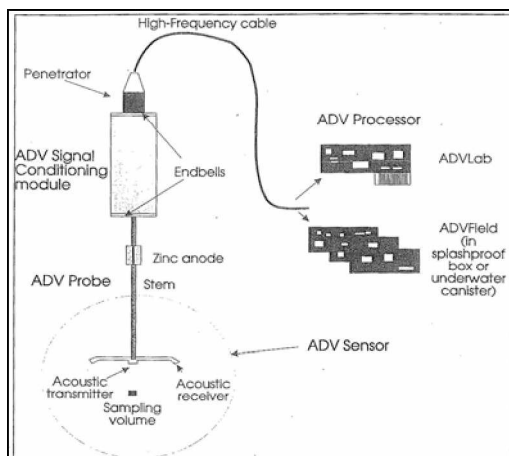
vedenpinnan korkeuden vaihtelua tarkasteltiin asteikolla. Asteikkoa kuvattiin mittauksen aikana videokameralla myöhempää analysointia varten.

Aaltomittauksia varten rakennettiin kevyt aaltopoiju (kuva 16 oikea). Poiju asetettiin kellumaan veteen halutulle korkeudelle ja ankkuroitiin tukevasti pohjaan raskaan ankkuripainon avulla. Poijua kuvattiin mittauksen aikana videokameralla, ja videokuvaa tarkastelemalla pystytettiin jälkikäteen arvioimaan poijun kohdanneiden aaltojen korkeutta ja periodia.

Alusten ohitusten aikaisia virtausnopeuksia rannan tuntumassa lähellä pohjaa mitattiin akustisella 3D-virtausnopeusanturi ADV:llä (Acoustic Doppler velocimeter) (kuva 17). ADV mittaa akustisesti, ääniaaltojen kulkeutumismopeuksiin perustuen virtausnopeuksien kaikki kolme nopeuskomponenttia. ADV:n tallentama mittausdata analysoitiin ADV - Win -ohjelmalla.



Kuva 16 Vasemmalla vedenkorkeuden mitta-asteikko. Oikealla aaltopoiju.



Kuva 17 ADV:n kokoonpano

4.2 Tulokset

4.2.1 Kuiva-Hevosien venesatama

Venesatamassa mitattiin kolmen päivän aikana (1 pv 2009, 2 pv 2010) yhteensä 28 alusohituksen aikaisia vaikutuksia. Kaikki alukset olivat joko ropax- tai roro-aluksia. Aluksista ajoi sisään 15 ja ulos 13. Mittausten aikaiset sääolosuhteet on esitetty taulukossa 2. Tuulitiedot saatiin Ilmatieteenlaitoksen Eestiluodon säähavaintoasemalta ja vedenkorkeustiedot Ilmatieteenlaitoksen Helsingin mareografilta.

Taulukko 2 Mittauspäivien sääolosuhteet

Mittauspäivä pvm	Tuulen nopeus (m/s)	Tuulen suunta	Tausta-aallokon korkeus (m)	Vedenkorkeus + – MW (cm)
25.6.2009	2–4	itä – kaakko	0,05 – 0,10	– 5 ... –13
10.5.2010	2–3	kaakko – etelä -lounas	0,10 – 0,15	–11 ... –16
11.5.2010	5–7	itä –koillinen	0,05 – 0,10	– 12 ... –15

Mittausten aikana Finnlines-varustamon Star-luokan ropax-aluksilla (Nordlink, Euroalink, Finn lady) kokeiltiin seuraavia nopeuksia mittauskohteen kohdalla:

- 20 km/h
- 25 km/h
- 30 km/h (nykyinen nopeusrajoitus)
- 35 km/h

Mittausten aikana mittauskohteen ohittaneet alukset teknisine tietoineen on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3 Alusten teknisiä tietoja (lähteet: Suomen kuvitettu laivaluettelo 2009, varustamoiden verkkosivut, www.marinetraffic.com, www.wikipedia.com)

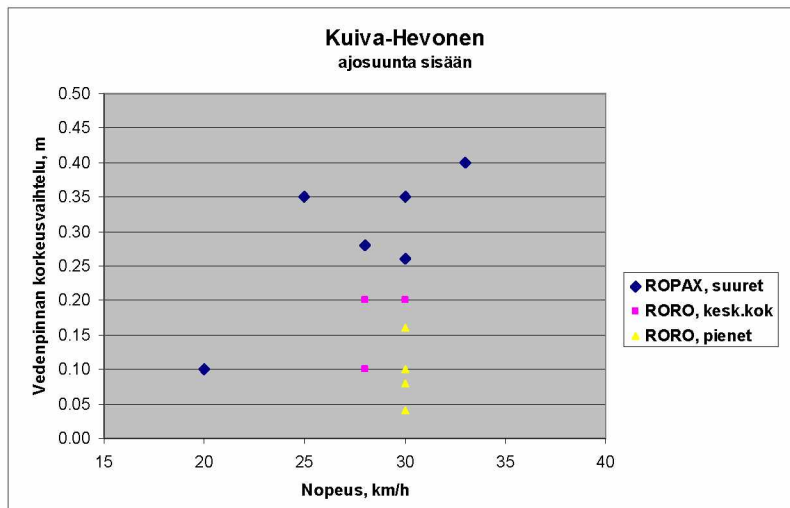
Alus	Tyyppi	Pituus (m)	Leveys (m)	Max.Syväys (m)	Ajonaikainen syväys Sisään / Ulos (m)	GT / NT (t)	DWT (t)
Nordlink	Ropax	218,8	30,5	7,0	6,5; 6,7 / 6,5; 6,7	45923 / 9653	9653
Superfast VII	Ropax	203,3	25,4	6,6	6,3 / 6,3	30285 / -	5915
Superfast VIII	Ropax	203,3	25,4	6,6	6,4 / 6,3	30285 / -	5915
Eurolink	Ropax	218,8	30,5	7,0	6,7 / 6,7; 7,0	45923 / 9653	9653
Finn lady	Ropax	218,8	30,5	7,0	7,1 / 7,1	45923 / 9653	9653
Longstone	Ro-Ro	193,0	26,0	6,6	5,9 / -	23235 / 6971	10090
Finnpulp	Ro-Ro	187,1	26,5	6,9	6,5 / -	25654 / 7696	11746
Finnkraft	Ro-Ro	162,2	20,6	6,7	6,0 / 6,0	11530 / 3459	8700
Birka Trader	Ro-Ro	154,5	22,7	7,0	5,8 / -	12 251 / 3 676	8853
Birka Express	Ro-Ro	154,5	22,7	7,0	6,5 / -	12 251 / 3 676	8843
Ahtela	Ro-Ro	139,5	19,0	6,1	5,3; 5,4 / 5,4	8610 / 2710	6614
Translandia	Ro-Ro	135,5	21,7	6,1	5,2; 5,2; 5,3 / 5,2	13867 / 4161	4113

Vedenpinnan korkeusvaihtelu

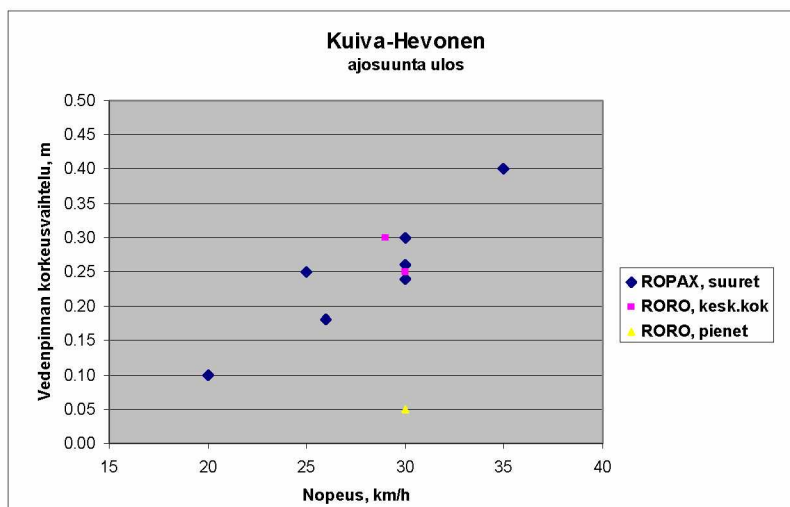
Mittausten aikana havaittu vedenpinnan korkeuden kokonaisvaihtelu on esitetty aluksen nopeuden funktiona kuvissa 18 (sisään) ja 19 (ulos). Erilaiset alukset on analysoinnin helpottamiseksi jaettu luokittain periaatteella

- suuret ropax-alukset ($L > 200$ m, $B = 25\text{--}31$ m)
- keskikokoiset roro-alukset ($L = 150\text{--}200$ m, $B = 20\text{--}26,5$ m)
- pienet roro-alukset ($L = 130\text{--}140$ m, $B = 19\text{--}25$ m)

Kuvissa 18 ja 19 ei ole erikseen esitetty vedenpinnan alenemaa eikä nousua, sillä niiden hajonta oli kohtalaisen suurta eri alusten välillä. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että vedenpinnan aleneman osuus oli tavallisesti $1/2\text{--}2/3$ kokonaisvaihtelusta. Poikkeuksena mainittakoon Superfast VII ja Nordlink alukset, joiden ohitusten aikana vedenpinnan nousu oli yli kaksinkertainen alenemaan verrattuna alusten ajaessa sisään.



Kuva 18 Vedenpinnan korkeusvaihtelu nopeuden funktiona, ajosuunta sisään



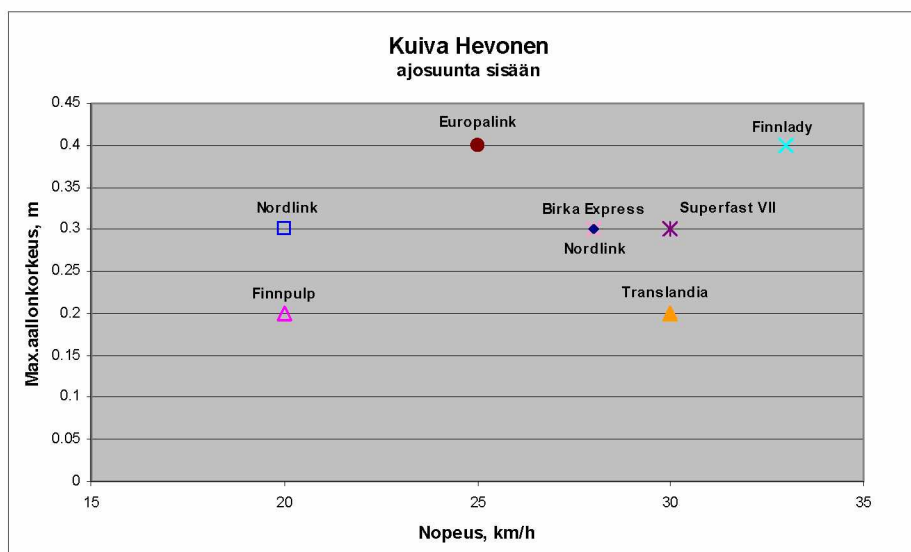
Kuva 19 Vedenpinnan korkeusvaihtelu nopeuden funktiona, ajosuunta ulos

Kuvista 18 ja 19 voidaan selvästi havaita suurten ropax-alusten aiheuttamien vedenpinnan korkeusvaihteluiden riippuvan alusten ohitusten aikaisista nopeuksista. Tämä riippuvuus näyttäisi olevan tällä nopeusvälillä lähes lineaarinen. Alusnopeuksilla 33–35 km/h vedenpinnan korkeusvaihtelu on noin nelinkertaista 20 km/h nopeuteen verrattuna. Vedenpinnan korkeusvaihtelu ei sen sijaan näyttäisi olevan riippuvainen tässä mittauskohteessa aluksen ajosuunnasta. Korkeusvaihtelu on likimain samaa luokkaa sekä sisään että ulos ajettaessa, kun alusten ohitusnopeudet ovat samoja.

Kuvaa 18 tarkastelemalla voidaan havaita myös aluksen koolla olevan merkittävä vaikutus vedenpinnan korkeusvaihtelun suuruuteen. Suuret ropax-alukset aiheuttavat tyypillisesti merkittävästi suuremman korkeusvaihtelun kuin pienet ro-ro-alukset ja hieman suuremman vaihtelun kuin keskikokoiset ro-ro-alukset. Mielenkiintoinen havainto mittauksen aikana oli, että keskikokoiset ro-ro-alukset Birka Trader ja Finnkraft aiheuttivat ulos ajaessaan likimain saman suuruisen vedenpinnan korkeusvaihtelun kuin vastaavilla nopeuksilla ajaneet suuret ropax-alukset. Tämä voidaan havaita kuvasta 19.

Aallot

Kuvassa 20 on esitetty aluksen aiheuttama maksimiaallonkorkeus aluksen nopeuden funktiona. Huomattavaa on, että aaltovaikutus ulottui rannan muodosta johtuen vesisatamaan saakka ainoastaan alusten ajaessa sisään.



Kuva 20 Maksimiaallonkorkeus nopeuden funktiona

Suurimmat laiva-aallot havaittiin suurten ropax-alusten ohitusten aikana, jolloin maksimiaallonkorkeudet olivat 0,3–0,4 m ja vastaavat periodit 2–3 s. Pienten ja keskikokoisten ro-ro-alusten aiheuttamat maksimiaallonkorkeudet olivat 0,2–0,3 m ja vastaavat periodit 1,5–3,0 s. Lähes kaikilla aluksilla oli havaittavissa 2–3 aaltoryhmää, joista ensimmäinen (keula-aallot) oli tyypillisesti voimakkain.

Virtaukset

Virtausnopeuksia mitattiin pohjan tuntumassa, n. 15 cm pohjan yläpuolella, lähellä vesisataman suuta olevan laiturin edustalla. Vesisyvyys mittauskohdassa oli n. 1,5 m. ADV:lla mitattiin alusten ohitusten aikaisten virtausnopeuksien lisäksi tasaisin vä-

liajoin luonnon taustavirtausnopeuksia. Näin saatiin käsitys alusten aiheuttamasta virtaushäiriöstä suhteessa luonnon taustavirtauksiin.

Alusten ajaessa sisään suurimmat virtausnopeudet havaittiin tyypillisesti aluksen ohituksen jälkeen laiva-aaltojen saapuessa rantaan. Osassa mittauksista virtausnopeuksien maksimit havaittiin aluksen ollessa suoraan mittauskohteen kohdalla väylällä. Suurimmat virtausnopeudet mitattiin suurten ropax-alusten ohitusten aikana. Näiden alusten uppoumavirtausten aikaiset maksimivirtausnopeudet vaihtelivat välillä 25–48 cm/s. Laiva-aaltojen saapuessa rantaan ADV rekisteröi maksimivirtausnopeuksia 45–55 cm/s. Alusten ajaessa ulos suurimmat virtausnopeudet havaittiin alusten ollessa suoraan mittauskohteen kohdalla väylällä. Virtausnopeudet vaihtelivat tällöin suurten ropax-alusten ohitusten aikana välillä 23–60 cm/s.

Verrattaessa ropax-alusten ohitusten aikaisia maksimivirtausnopeuksia mitattuihin taustavirtausnopeuksiin voidaan todeta, että alukset aiheuttivat 5–10 kertaisia virtausnopeuksia taustavirtausten vastaaviin nopeuskomponentteihin verrattuna. Pienten roro-alusten ohitusten aikana mitatut virtausnopeudet eivät poikenneet merkittävästi mitatuista taustavirtausnopeuksista kummassakaan ajosuunnassa. Suurimmat virtausnopeudet näiden alusten ohitusten aikana mitattiin sisäänajossa laiva-aaltojen saapuessa rantaan. Tällöin suurimmat virtausnopeudet vaihtelivat välillä 8–14 cm/s.

4.2.2 Krokholmenin mökkiranta

Krokholmenin länsipuolen mökkirannassa mitattiin kahden mittauspäivän aikana (1 pv 2009, 1 pv 2010) yhteensä 27:n alusohituksen aikaisia vaikutuksia. Alukset olivat suuria ropax-aluksia sekä pieniä ja keskikokoisia roro- ja konttialuksia. Aluksista 17 ajoi sisään ja 10 ulos.

Mittausten aikaiset sääolosuhteet on esitetty taulukossa 4. Tuulitiedot saatiin Ilmatieteenlaitoksen Eestiluodon säähavaintoasemalta ja vedenkorkeustiedot Ilmatieteenlaitoksen Helsingin mareografilta.

Taulukko 4 Mittauspäivien sääolosuhteet

Mittauspäivä pvm	Tuulen nopeus (m/s)	Tuulen suunta	Tausta-aallokon korkeus (m)	Vedenkorkeus + – MW (cm)
29.6.2009	2–3	länsi	0.05–0.10	– 11 ... –15
18.5.2010	3–5	itä – koillinen	0.00–0.05	– 3 ... – 8

Mittausten aikana Finnlinesin Star-luokan ropax-aluksilla (Nordlink, Europalink, Finnstar) kokeiltiin seuraavia nopeuksia mittauskohteen kohdalla:

- 17 km/h (nykyinen nopeusrajoitus)
- 20 km/h
- 24 km/h

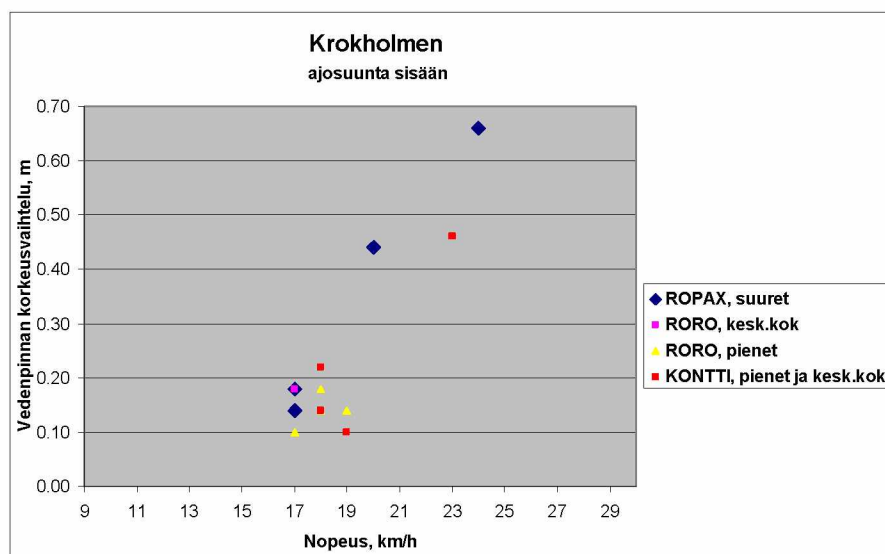
Mittausten aikana mittauskohteen ohittaneet alukset teknisine tietoineen on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5 Alusten teknisiä tietoja (lähteet: Suomen kuvitettu laivaluettelo 2009, varustamoiden verkkosivut, www.marinetraffic.com, www.wikipedia.com)

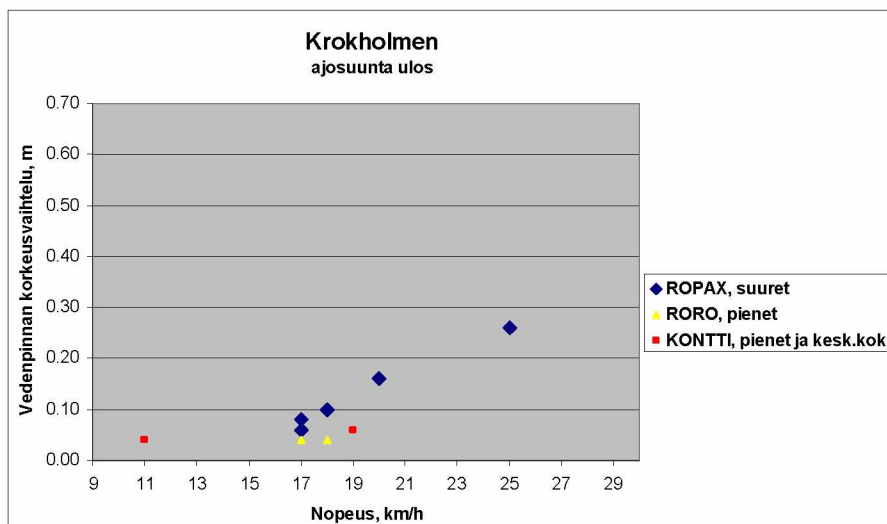
Alus	Tyyppi	Pituus (m)	Leveys (m)	Syväys (max.) (m)	Ajonaikainen syväys Sis / Ulos (m)	GT / NT (t)	DWT (t)
Nordlink	Ropax	218,8	30,5	7,0	- / 6,5	45923 / 9653	9653
Eurolink	Ropax	218,8	30,5	7,0	7,1 / 6,8	45923 / 9653	9653
Finnstar	Ropax	218,8	30,5	7,0	7,1 / -	45923 / 9653	9653
Finnmaid	Ropax	218,8	30,5	7,0	7,0 / 7,0	45923 / 9653	9653
Superfast VII	Ropax	203,3	25,4	6,6	6,5; 6,2 / 6,2; 6,3	30285 / -	5915
Finnkraft	Ro-Ro	162,2	20,6	6,7	6,4 / 5,7	11530 / 3459	8700
Birka Trader	Ro-Ro	154,5	22,7	7,0	5,8 / -	12 251 / 3 676	8853
Ahtela	Ro-Ro	139,5	19,0	6,1	5,3 / 5,3	8610 / 2710	6614
Fellow	Ro-Ro	137,3	24,6	6,1	6,2 / -	6304 / -	-
Translandia	Ro-Ro	135,5	21,7	6,1	5,2; 5,3 / 5,2; 5,3	13867 / 4161	4113
Containership VI	Container	154,5	21,8	8,9	6,1 / -	9953 / 5284	13645
Slepner	Container	140,6	21,8	7,3	6,0 / -	7852 / 3363	9322
Ragna	Container	100,0	19,0	5,1	5,1 / 5,1	-	5215
Henneke Rambow	Container	134,0	22,0	7,2	7,2 / -	-	11400
Hercules J	Container	151,7	23,4	8,0	- / 6,4	10585 / 7352	10585

Vedenpinnan korkeusvaihtelu

Alusten ohitusten aikaiset vedenpinnan korkeuden kokonaisvaihtelut mökkirannassa eteläisemmän laiturin edustalla on esitetty nopeuden funktiona kuvissa 21 (ajosuunta sisään) ja 22 (ajosuunta ulos). Erilaiset alukset on analysoinnin helpottamiseksi jaettu luokkiin samalla periaatteella kuin edellä esitellyissä Kuiva-Hevosien mittauksissa. Uutena luokkana Krokholmenin mittauksissa ovat pienet ja keskikokoiset konttialukset (L=100–150 m, B= 19–23,5 m).



Kuva 21 Vedenpinnan korkeusvaihtelu nopeuden funktiona, ajosuunta sisään



Kuva 22 Vedenpinnan korkeusvaihtelu nopeuden funktiona, ajosuunta ulos

Kuvan 21 perusteella on ilmeistä, että alusnopeuden pienikin kasvu sisäänajossa lisää vedenpinnan korkeusvaihtelua todella merkittävästi. Alhaisilla nopeuksilla, 17–19 km/h, vedenpinnan korkeusvaihtelu on vähäistä kaikilla aluksilla. Suurilla ropax-aluksilla vedenpinnan korkeusvaihtelu sisäänajossa 20 km/h nopeudella on likimain kolminkertaista 17 km/h nopeuteen verrattuna. Nopeudella 24 km/h vedenpinnan korkeusvaihtelu on jo lähes 0,70 m.

Kuvia 21 ja 22 vertailemalla huomataan, että myös aluksen ajosuunnalla on merkittävä vaikutus vedenpinnan korkeusvaihtelun suuruuteen tässä mittauskohteessa. Alusten ajaessa sisään korkeusvaihtelu on huomattavasti suurempaa kuin alusten ajaessa vastaavilla nopeuksilla ulos. Sisäänajossa suurten ropax-alusten aiheuttama vedenpinnan korkeusvaihtelu oli jopa kolminkertaista ulosajoon verrattuna.

Aallot

Mökkiranta on melko hyvin suojassa sisään satamaan ajavien alusten aalloilta. Voimakkain aaltovaikutus kohdistuu rantaan alusten ajaessa ulos satamasta. Mittauksissa havaitut suurimmat laiva-aallot olivat sisäänajossa korkeudeltaan 0,1 m ja periodiltaan 1–2 s. Alusten ajaessa ulos suurimmat havaitut aallot olivat korkeudeltaan 0,1–0,2 m ja periodiltaan 1–3 s. Mittauksissa havaitut suurimmat aallot aiheutti ropax-alus Finnmaid ajaessaan ulos nopeudella 25 km/h. Tällöin maksimiaallonkorkeus oli 0,2 m ja vastaava periodi 2–3 s.

Virtaukset

Virtausnopeuksia mitattiin pohjan tuntumassa, n. 15 cm pohjan yläpuolella mökkirannan eteläisemmän laiturin edustalla. Vesisyvyys mittauskohdassa oli n. 1,5 m. Suurimmat virtausnopeudet havaittiin molemmissa ajosuunnissa alusten ollessa joko suoraan mittauskohteen kohdalla väylällä tai alusten ollessa poistumassa kohteen ohi.

Alusten ajaessa sisään suurimmat virtausnopeudet mitattiin suurten ropax-alusten ohitusten aikana nopeusalueella 17–24 km/h. Tällöin ADV rekisteröi 18–52 cm/s virtausnopeuksia. Mitatut maksimivirtausnopeudet olivat taustavirtausten vastaaviin

nopeuskomponentteihin verrattuna 4–5 kertaisia. Pienet ja keskikokoiset roro- ja konttialukset eivät aiheuttaneet merkittäviä virtausnopeuksia taustavirtausnopeuksiin verrattuna. Poikkeuksena mainittakoon 23 km/h nopeudella sisään ajanut keskikokoinen konttialus, jonka ohituksen aikana mitattiin 18–34 cm/s virtausnopeuksia.

Alusten ajaessa ulos suurimmat virtausnopeudet mitattiin suuren ropax-aluksen ja keskikokoisen konttialuksen ohitusten aikana nopeusvälillä 17–20 km/h, jolloin ADV rekisteröi 5–11 cm/s virtausnopeuksia. Mitatut virtausnopeudet eivät poikenneet merkittävästi taustavirtausten vastaavista nopeuskomponenteista alusten ajaessa ulos.

4.3 Tulosten arviointia

Kuiva-Hevosen venesatama

Kuiva-Hevosen eteläpuolen venesatamassa havaitut vedenpinnan korkeusvaihtelut riippuivat odotetusti alusten koosta ja ajonopeudesta. Alusten ajosuunnalla ei sen sijaan näyttänyt olevan merkitystä. Aluskoon ja ajonopeuden kasvaessa myös vedenpinnan korkeusvaihtelu lisääntyi. Pienet roro-alukset eivät aiheuttaneet merkittäviä vedenpinnan korkeusvaihteluita noin 30 km/h nopeuksilla. Suurilla ropax-aluksilla taas vedenpinnan korkeusvaihtelu oli kohtalaisen suurta jo 25 km/h nopeuksilla. Näillä aluksilla nopeuden kasvaessa vedenpinnan korkeusvaihtelu lisääntyi mittausten aikaisilla alusnopeuksilla lähes lineaarisesti: jokaista 5 km/h nopeuden lisäystä kohden korkeusvaihtelu lisääntyi likimain 0,1 m.

Mittauksissa havaittujen suurimpien laiva-aaltojen korkeudet olivat nopeusalueella 25–35 km/h (noin 13–19 solmua) 0,2–0,4 m. Kun otetaan huomioon alusten nopeudet ja väylän vesisyvyys, voidaan todeta, että alukset liikkuivat mittausten aikana väylällä Frouden luvuilla $F_{NH}=0,4\text{--}0,6$. Kun lisäksi huomioidaan aallonkorkeuden kasvu aallon saapuessa matalaan veteen sekä aallon tulokulma ja sitä kautta laskettu kulkeutumismatka mittaushetkeen, voidaan sivulla 25 olevan yhtälön 3 aallon vaimentumiselle ($d=-1/3$ eroaville aalloille) arvioida laiva-aaltojen olleen syntyhetkellään korkeudeltaan 0,5–0,8 m. Verrattaessa näitä arvioita sivulla 28 (kuvat 9 ja 10) esitettyihin mallikoetuloksiin alusten aallonmuodostuksesta, havaitaan mallikoealusten aiheuttaneen samaa luokkaa olevia aallonkorkeuksia nopeusvälillä 12–19 solmua (n. 22–35 km/h). Tämä vastaa hyvin mittausten aikaisia alusnopeuksia.

Tuuliolosuhteet mittausten aikana olivat kohtalaisen tyynet, eikä luonnonaallokko arvioiden mukaan merkittävästi vaimentanut laiva-aaltoja niiden kulkeutuessa väylältä mittaushetkeen. Tuulennopeuden ja sitä kautta luonnonaallokon korkeuden ollessa mittausten aikaista suurempaa, alusten aiheuttamat aallot voivat luonnonaallokon vaikutuksesta vaimentua. Tällöin rannan tuntumassa laiva-aallot voivat olla mitauksissa havaittuja vaimeampia. Luonnonaallokon vaimentava vaikutus riippuu sen voimakkuudesta ja suunnasta suhteessa laiva-aaltoihin.

Vedenpinnan korkeusvaihteluille tai laiva-aalloille ei voida määrittää mitään yleispäteviä raja-arvoja, joiden ylittyessä venesatamien tai rantojen käyttö vaikeutuisi. Jokaista rantaa ja venesatamaa on tarkasteltava erikseen omine erityispiirteineen ja arvioitava alusten aiheuttaman haitan vaikuttavuutta paikallisissa olosuhteissa. Rannan tai venesataman käyttötarkoituksen, laiturityyppien, suojaisuusominaisuuksien sekä pohja- ja syvyysolosuhteiden perusteella voidaan arvioida, kuinka suuret veden-

pinnan korkeusvaihtelut tai aallot kohde vielä kestää käyttötarkoituksen mukaisen käytön oleellisesti vaikeutumatta.

Kuiva-Hevosen venesatama on luonnonsatama, minkä vuoksi se ei sovellu veneiden säilytykseen yhtä hyvin kuin ruoppaamalla syvennetty ja aallonmurtajilla suojattu satama. Satama on osittain suojaton etelän ja lännen puoleisille tuulille ja aallokelle. Laitureiden edustoilla vesisyvyys on pieni ja laiturit kiinteitä, jolloin suhteellisen pienetkin vedenpinnan korkeusvaihtelut voivat aiheuttaa haittaa kiinnitetyille veneille satamassa.

Mittausten aikaisten havaintojen perusteella voidaan laiva-aalloille ja vedenpinnan korkeusvaihteluille määrittää karkeat raja-arvot, joilla aaltojen ja vedenpinnan korkeusvaihteluiden ei odoteta vielä aiheuttavan kohtuutonta haittaa venesataman käytölle veneiden säilytykseen tai rannan virkistyskäytölle.

Raja-arvot:

- Vedenpinnan korkeusvaihtelut
 - max. 0,20–0,30 m
- Aallonkorkeus
 - max. H= 0,30 m

Näitä raja-arvoja tarkasteltaessa on huomattava, että luonnollisen vedenkorkeuden ollessa keskimääräistä huomattavasti alempana, vedenpinnan korkeusvaihteluiden aiheuttamat haittavaikutukset voivat alkaa jo esitettyjä raja-arvoja aikaisemmin. Luonnollisen vedenkorkeuden ollessa taas keskimääräistä ylempänä, tilanne on päinvastainen. Lisäksi on muistettava, että raja-arvot ovat vain mittaushenkilöstön havaintoihin perustuvia arvioita.

Venesatamaan kohdistuvia alusliikenteen aiheuttamia haittavaikutuksia arvioitaessa on huomattava, että myös tuulen nostattama luonnonaallokko voi vaikeuttaa sataman käyttöä, jos satamaa ei ole riittävästi suojattu esimerkiksi aallonmurtajin. Kun alusten aiheuttamia, mittauksissa havaittuja aaltoja rannan tuntumassa verrataan teoreettisen tarkastelun perusteella (Paukkeri 2010) saatuihin arvioihin luonnonaallokosta voidaan todeta, että suurimmatkin laiva-aallot vastaisivat korkeudeltaan ja periodiltaan lounaasta 5–10 m/s puhaltavan tuulen nostattamaa luonnonaallokkoa. Luonnonaallokon aallonkorkeuden ja periodin arvioinnissa on käytetty merikartalta mitatun, tuulen vapaan pyyhkäisymatkan pituutena 6 km lounaaseen. Toisaalta on muistettava, että aallon korkeus ja periodi eivät ole ainoita aaltojen vaikutuksiin sidoksissa olevia tekijöitä. Laiva-aallot voivat kulkeutua luonnonaaltoja voimakkaammin satamaan suuremman nopeutensa ja sitä kautta suuremman energiansa vuoksi.

Maastotutkimustulosten perusteella voidaan määrittää eri alustyyppien suurimmat mahdolliset kohteen ohitusnopeudet, joilla edellä esitettyjen raja-arvojen laiva-aaltojen korkeudelle ja vedenpinnan korkeusvaihtelulle satamassa ei odoteta ylittyvän. Raja-arvoja vastaavien alusnopeuksien suuruusluokka eri alustyypeille on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6 Raja-arvoja vastaavat alusnopeudet

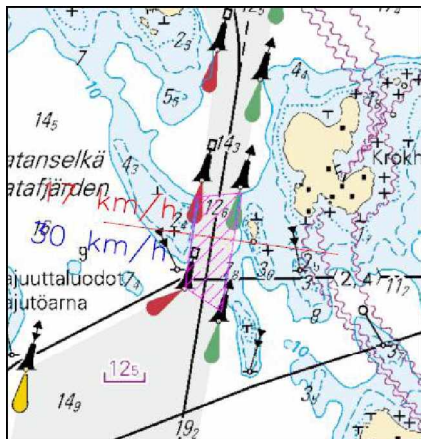
Kuiva-Hevonen, venesatama		
Alustyyppi	Suurin nopeus, km/h (solmua)	
	Sisään	Ulos
Suuret ropax-alukset	20 (11)	25–30 (14–16)
Keskikokoiset roro-alukset	30 (16)	30 (16)
Pienet roro-alukset	yli 30 (16)	yli 30 (16)
Konttialukset	arvio 30 (16)	arvio 30 (16)

Krokholmenin mökkiranta

Krokholmenin mittauskohteessa vedenpinnan korkeusvaihtelu alusten ohitusten aikana oli hyvin voimakkaasti riippuvainen alusten ohitusnopeuksista erityisesti alusten ajaessa sisään. Pienikin nopeuden kasvattaminen lisäsi vedenpinnan korkeusvaihtelua todella voimakkaasti. Nopeuksilla 17–20 km/h vedenpinnan korkeusvaihtelu oli pienillä ja keskikokoisilla roro- ja konttialuksilla vähäistä molemmissa ajosuunnissa. Suurilla ropax-aluksilla korkeusvaihtelu oli vielä 17 km/h nopeudella vähäistä, mutta jo 20 km/h nopeudella se oli kohtalaisen suurta alusten ajaessa sisään.

Vedenpinnan korkeusvaihtelu sisään- ja ulosajossa poikkesi huomattavasti toisistaan. Sisään ajaneen alusliikenteen aiheuttama vedenpinnan korkeusvaihtelu oli lähes kolminkertaista vastaavilla nopeuksilla ulos ajaneeseen liikenteeseen verrattuna. Tämä johtui todennäköisesti Krokholmenin edustalla olevan ruopatus alueen (kuva 23) ja sitä ympäröivän vapaan vesialueen erilaisesta muodosta eri suunnista lähestyttäessä.

Merkittävä huomio mittauksen aikana oli myös se, että pientenkin alusten aiheuttamat vedenpinnan korkeusvaihtelut voivat olla suhteellisen suuria aluksen kokoon nähden, jos alukset hiljentävät nopeuttaan sisään ajaessaan vasta ruopatus alueen kohdalla. Tässä nykyinen nopeusrajoitus vaihtuu rajoituksesta 30 km/h rajoitukseen 17 km/h. Jos nopeusrajoituksen vaihtumiskohta sijaitisi jo ennen ruoppausaluetta, alusten uppoumavirtausten aiheuttama imu- ja painevaikutus ehtisi todennäköisesti paremmin tasaantua. Tämä taas voisi johtaa maltillisempiin vedenpinnan korkeusvaihteluihin Krokholmenin rannoilla sisäänajossa.



Kuva 23 Krokholmenin edustan ruoppausalue (lähde: rannikkokartta nro 18 © Liikennevirasto)

Mittauksissa havaitut laiva-aallot olivat vaihteita, sillä alusten ohitusnopeudet olivat alhaisia. Laiva-aaltojen tulosuunta ei myöskään ole suoraan mökkirantaa vasten kohtisuorassa, joten rantaan kantautuvat aallot taipuvat ja siten menettävät nopeuttaan ja energiaansa. Mökkirantaa suojaa sisään ajavien alusten aaltovaikutukselta väylän ja mökkirannan välissä oleva luoto sekä rannan aallonmurtaja.

Krokholmenin mökkirannan laiturit ovat rakenteeltaan massiivisia, joten ne kestävät hyvin aaltojen ja virtausten aiheuttamaa kuormitusta. Satama-alue on riittävän syvä, jolloin suhteellisen suurelleen vedenpinnan korkeusvaihtelut eivät aiheuta veneille pohjatosketusvaaraa. Ongelmaksi voi muodostua veneiden liikkuminen kiinnityksissään, jos vedenpinnan korkeusvaihtelu on suurta ja virtaukset voimakkaita. Tällöin vaarana voi olla veneiden vahingoittuminen niiden hankautuessa laituria tai toisiaan vasten. Voimakkaan imuvaikutuksen aiheuttamat virtaukset rannan tuntumassa voivat myös vaikeuttaa ranta-alueen virkistyskäyttöä.

Kun mittauksissa havaittuja alusten aiheuttamia aaltoja rannan tuntumassa verrataan teoreettisiin tarkastelun perusteella saatuihin arvioihin luonnonaalloista voidaan todeta, että suurimmatkin laiva-aallot vastaisivat korkeudeltaan ja periodiltaan lännestä 5–10 m/s puhaltavan tuulen nostattamaa luonnonaalloa. Luonnonaallokon arvioinnissa on käytetty merikartalta mitatun, tuulen vapaan pyyhkäisymatkan pituutena 2 km länteen.

Laiva-aalloille ja vedenpinnan korkeusvaihteluille Krokholmenin mökkirannassa voidaan määrittää raja-arvot samalla periaatteella kuin Kuiva-Hevosien tapauksessa.

Raja-arvot:

- Vedenpinnan korkeusvaihtelut
- max. 0,30–0,40 m
- Aallonkorkeus
- max. H= 0,30 m

Raja-arvoja vastaavien alusnopeuksien suuruusluokka eri alustyypeille on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7 Raja-arvoja vastaavat alusnopeudet

Krokholmen, mökkiranta		
Alustyyppi	Suurin nopeus km/h (solmua)	
	<i>Sisään</i>	<i>Ulos</i>
Suuret ropax-alukset	17–18 (9–10)	25 (14)
Keskikokoiset ro-ro-alukset	17–19 (9–10)	arvio 25 (14)
Pienet ro-ro-alukset	20–25 (11–14)	25–30 (14–16)
Konttialukset	17–19 (9–10)	25–30 (14–16)

4.4 Arviointiyhteen veto alusten aiheuttamista haittavaikutuksista väylän varrella

Vuosaaren väylän alusliikenteen aallonmuodostuksen ja uppoumavirtausten aiheuttamista haittavaikutuksista saarten rannoilla ja venesatamissa tehtiin arviointiyhteen veto, johon kerättiin maastomittausten aikaiset havainnot ja arviot alusliikenteen vaikutuksista kaikkien väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla. Vaikutusten arviointi tehtiin alusten aallonmuodostuksen teoreettisen tarkastelun, VTT:n mallikoetelosten sekä kirjallisuudesta löydettyjen ja tämän työn aikaisten maastotutkimusten pohjalta. Kaikille kohteille pyrittiin arvioimaan väylältä kantautuvien laiva-aaltojen vesien käyttöön kohdistuvia vaikutuksia ja niiden suhdetta luonnonaallokon arviotuihin vaikutuksiin. Arvioinnissa pyrittiin myös kartoittamaan kohteet, joissa alusten uppoumavirtausten aiheuttamat vedenpinnan korkeusvaihtelut voisivat olla merkittäviä.

Itä- ja Länsitoukin luodot

Luodot sijaitsevat ulkosaaristossa avomerren läheisyydessä nykyisen nopeusrajoitusalueen ulkopuolella. Alukset ohittavat saariryhmän arviolta 30–45 km/h (16–24 solmua) nopeuksilla alustyyppistä riippuen. Tällä nopeusalueella alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet Itätoukin väylän puoleisella rannalla vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,3–0,6 m ja kauempana väylästä olevalla Länsitoukin rannalla välillä 0,1–0,4 m. Luodot ovat suojattomia kaikista suunnista puhaltaville tuulille ja luonnon aallokelle. Rantaan kantautuvien laiva-aaltojen voidaan arvioida vastaavan korkeutensa puolesta suurimmillaankin noin 5 m/s puhaltavan tuulen nostattamaa luonnon aallokkoa. Laiva-aaltojen periodit voivat olla vastaavan korkuisen luonnonaallokon periodeja hieman suurempia.

Väylän alusliikenteen aiheuttamat aallot voivat joissakin tapauksissa aiheuttaa haittaa luotojen rannoille riittämättömästi tai sopimattomaan paikkaan kiinnitetuille pienveneille. Alusten aiheuttamat aallot eivät arvioiden mukaan kuitenkaan eroa vaikutuksiltaan suhteellisten heikkojen tuulten aiheuttaman luonnonaallokon vaikutuksesta. Tilanteessa, jossa keli on tyyni ja luonnonaallokko vaimeaa, väylältä kantautuvat laiva-aallot voivat yllätyksellisyydellään aiheuttaa ongelmia veneiden kiinnitykselle, mikäli veneilijät eivät osaa varautua laiva-aaltojen mahdollisuuteen.

Eestiluoto

Saariryhmä sijaitsee nykyisen nopeusrajoitusalueen ulkopuolella. Alukset ohittavat saariryhmän arviolta 30–45 km/h (16–24 solmua) nopeuksilla alustyyppistä riippuen. Tällä nopeusalueella alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet saariryhmän väylän puoleisilla rannoilla vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,3–0,6 m. Saariryhmä sijaitsee ulkosaaristossa ja on suojaton kaikista suunnista puhaltaville tuulille ja luonnon aallokelle. Alusten rantaan kantautuvien aaltojen voidaan arvioida vastaavan korkeutensa puolesta enimmillään 5–7 m/s puhaltavan tuulen nostattamaa aallokkoa tuulen suunnasta riippuen. Laiva-aaltojen periodit voivat olla vastaavan korkuisen luonnonaallokon periodeja hieman suurempia.

Saariryhmän väylän puoleisilla rannoilla ei voi säilyttää veneitä, sillä jo heikkojen tuulten aiheuttama luonnonaallokko käy veneiden säilytyksen kannalta liian voimak-

kaaksi. Väylältä saariryhmän rannoille kantautuvat laiva-aallot eivät arvioiden mukaan eroa vaikutuksiltaan luonnonaallokon aiheuttamasta vastaavasta vaikutuksesta.

Kuiva-Hevonen

Saari sijaitsee nykyisellä 30 km/h (16 solmua) nopeusrajoitusalueella. Nopeusalueella 25–35 km/h (13,5–19 solmua) alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet eteläpuolen venesataman suulla vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,2–0,5 m. Vastaaavat arviot maksimaalisille aallonkorkeuksille saaren pohjoisrannalla kauppalaiturin edustalla ovat 0,2–0,4 m. Maastomittauksissa havaitut maksimaaliset aallonkorkeudet eteläpuolen venesataman suulla vaihtelivat sisään ajettaessa välillä 0,2–0,4 m. Voidaan olettaa, että saaren pohjoisrantaan kauppalaiturin edustalle kantautuvat aallot ovat tätä samaa luokkaa tai vaimeammat, sillä aaltojen kulkeutumismatka väylältä pohjoisrannalle on eteläpuoleen verrattuna pidempi. Voimakkain aaltovaikutus kohdistunee lähimpänä väylää olevan saaren luoteiskärkeen, jossa ei ole asutusta eikä venelaitureita. Saaren luoteisosassa rannan tuntumassa maksimiaallonkorkeudet vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,2–0,6 m.

Saaren eteläpuolen venesatamaan kulkeutuvien suurimpien laiva-aaltojen voidaan arvioida korkeutensa puolesta vastaavan 5–10 m/s nopeudella suunnasta SW puhaltaisan tuulen nostattamaa luonnonaallokkoa. Vastaaavat arviot ovat pohjoisrannan kauppalaiturin edustalla 5–10 m/s ja luoteisrannalla 5–12 m/s nopeudella suunnista N tai NW puhaltaisille tuulille. Laiva-aaltojen periodit voivat olla vastaavan korkuisen luonnonaallokon periodeja hieman suurempia.

Nopeusalueella 20–35 km/h vedenpinnan korkeusvaihtelut alusten ohitusten aikana eteläpuolen venesatamassa vaihtelivat maastomittausten havaintojen perusteella suurimmilla aluksilla sekä sisään että ulos ajettaessa välillä 0,1–0,4 m. Saaren pohjoispuolen rannoilla kauppalaiturin tuntumassa vedenpinnan korkeusvaihtelut ovat arvioiden mukaan vähäisiä, sillä väylän ja pohjoisrannan välinen etäisyys on suuri ja myös rantojen vesisyvyys kohtalaisen suuri.

Maastomittausten havaintojen perusteella erityisesti väylällä kulkevat suuret alukset voivat aallonmuodostuksellaan ja uppoumavirtauksillaan aiheuttavaa haittaa saaren eteläpuolen venesataman käytölle. Satamasta puuttuu koko satama-alueen suojaava aallonmurtaja. Satama-alueen vesisyvyys venelaiturien edustoilla on niin pieni, että jo vähäisetkin vedenpinnan korkeusvaihtelut voivat vaikeuttaa veneiden säilyttämistä satamassa. Alusten aiheuttamat aallot ja virtaukset saaren eteläpuolen ranta-alueella voivat myös haitata ranta-alueiden virkistyskäyttöä.

Väylältä saaren pohjoisrannalle kantautuvat suurimmat laiva-aallot ovat arvioiden mukaan samaa suuruusluokkaa tai vaimeampia kuin eteläpuolen venesataman tilanteessa. Laiva-aallot kantautuvat pohjoisrannalle kauppalaiturin tuntumaan vain alusten ajaessa ulos satamasta. Veneitä ei voi säilyttää turvallisesti pohjoisrannan rantalaitureissa, sillä rannan edustalla on avointa selkää, jolloin jo suhteellisen heikkojen tuulten aiheuttama luonnonaallokko estää turvallisen veneiden säilyttämisen ranta-viivalla. Pohjoisrannan edustalla kulkee myös Etelä-Suomen talviväylä, jolla liikkuvat huvi- ja työalukset voivat aallonmuodostuksellaan aiheuttaa haittaa rantalaitureihin kiinnitetyille veneille. Pohjoisrannalla veneitä voidaan säilyttää turvallisesti rannan edustalla poijuihin kiinnitettyinä.

Vaikka väyläosan nykyistä 30 km/h nopeusrajoitusta laskettaisiin esimerkiksi rajoitukseen 25 km/h, alusten aallonmuodostuksesta ja uppoumavirtauksista aiheutuvat haittavaikutukset saaren eteläpuolen venesatamassa eivät merkittävästi vähenisi. Nopeusrajoitusta tulisi laskea arvioiden mukaan aina 20 km/h saakka, jotta haittavaikutukset poistuisivat kokonaan. Nykyisessä tilanteessa venesataman turvallinen käyttö veneiden säilytykseen vaatisi käytännössä satamaa suojaavan aallonmurtajan rakentamista sekä mahdollisesti laiturien edustojen syventämistä ja laitureiden parantamista.

Musta-Hevonen

Alukset ohittavat saaren enimmillään nykyisen nopeusrajoituksen mukaisilla 30 km/h (16 solmua) nopeuksilla. Näillä nopeuksilla alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet saariryhmän väylän puoleisilla rannoilla vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,1–0,3 m. Aaltojen voidaan arvioida vastaavan korkeutensa puolesta enimmillään 3–8 m/s suunnista W tai SW puhaltavien tuulten nostattamaa luonnonaallokkoa.

Krokholmen

Saari sijaitsee nykyisellä 17 km/h (9 solmua) nopeusrajoitusalueella. Nopeusalueella 17–25 km/h (9–13,5 solmua) alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet saaren länsi- ja pohjoisrannoilla vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,1–0,25 m. Maastomittausten havaintojen perusteella maksimaaliset aallonkorkeudet länsipuolen mökkirannan edustalla vaihtelivat alusten ajaessa ulos välillä 0,1–0,2 m. Alusten aiheuttamien rantaan kulkeutuvien aaltojen voidaan arvioida vastaavan korkeutensa puolesta suurimmillaankin 5–10 m/s W ja NE väliltä puhaltavan tuulen nostattamaa luonnonaallokkoa.

Nopeusalueella 17–25 km/h vedenpinnan korkeus vaihteli alusten ohitusten aikana länsipuolen mökkirannassa maastomittausten havaintojen perusteella suurimmilla aluksilla sisään ajettaessa välillä 0,14–0,66 m ja ulos ajettaessa välillä 0,06–0,26 m. Arvioiden mukaan vedenpinnan korkeusvaihtelut saattavat olla kohtalaisen suuria myös saaren pohjoispuolen rannoilla.

Väyläosan nykyisellä 17 km/h nopeusrajoituksella väylällä kulkevat alukset eivät mitaushavaintojen perusteella aiheuta haittaa saaren länsipuolen mökkirannassa. Jos nopeusrajoitusta nostettaisiin nykyisestä, vedenpinnan korkeusvaihtelut mökkirannassa lisääntyisivät voimakkaasti sisään ajettaessa. Vedenpinnan korkeusvaihtelut voisivat olla suuria myös saaren pohjoisosan ulkoilun alueen rannoilla, joilla on pienveneiden kiinnityspaikkoja. Ulos ajettaessa nopeusrajoitusta voitaisiin mitaushavaintojen perusteella nostaa aina rajoitukseen 25 km/h saakka ilman että haittavaikutukset saaren länsipuolen mökkirannassa lisääntyisivät kohtuuttomasti.

Pikku-Niinisaari ja Mölandet

Saaret sijaitsevat sataman tuntumassa nykyisellä 17 km/h (9 solmua) nopeusrajoitusalueella. Nopeusalueella 17–25 km/h (9–13,5 solmua) alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet Pikku-Niinisaaren itä- ja etelärannoilla sekä Mölandetin eteläkärjessä vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,1–0,25 m. Voimakkain aaltovaikutus kohdistunee Pikku-Niinisaaren mutkassa, väylän sisäkaarteeseen puolella olevaan Pikku-Niinisaaren itärantaan. Vedenpinnan korkeusvaihtelut alusten ohitusten aikana saarten rannoilla ovat arvioiden mukaan vähäisiä, sillä alusten nopeudet ovat sataman läheisyydessä alhaisia.

5 Alusliikenteen turvallisuus ja sujuvuus

5.1 Yleistä

Väylänviranomaisen päätehtävänä on vesiliikenteen toimintaedellytysten tukeminen ja edunvalvonta (Merenkululaitos 2009 c). Tilanteessa, jossa kauppamerenkulun väylälle asetetaan nopeusrajoituksia, joiden tarkoituksena on vähentää alusliikenteen aiheuttamia ympäristövaikutuksia, on myös tärkeää ottaa huomioon rajoitusten mahdolliset vaikutukset alusliikenteen turvallisuuteen, sujuvuuteen ja sataman operointiin. Nopeusrajoituksia alentamalla ei saa vaarantaa alusten ohjailua väylällä eikä kohtuuttomasti heikentää alusliikenteen sujuvuutta tai vaikeuttaa sataman operointia. Tässä luvussa käsitellään Vuosaaren väylän nopeusrajoituksia alusten turvallisen ohjailun, alusliikenteen ohjauksen ja liikenteen sujuvuuden sekä sataman operoinnin näkökulmasta.

5.2 Aluksen ohjailu väylällä

Aluksen liikkeessa väylällä, sen on säilytettävä ohjailukykynsä kaikissa olosuhteissa. Mikäli ohjailukyky menetetään, seurauksena voi olla törmäys toiseen alukseen tai väylältä ulos ajautuminen. Alus tarvitsee tietyn vähimmäisnopeuden säilyttääkseen ohjailukykynsä. Aluksen ohjailutapahtuma väylällä ja sitä kautta aluksen turvallisen ohjailun vaatima vähimmäisnopeus on väylä- ja aluskohtainen. Myös luonnonolosuhteet, kuten tuuli, aallokko, virtaukset ja jäätalvina jäät, asettavat omat erityisvaatimuksensa aluksen ohjailulle ja turvallisen ohjailun vaatimille vähimmäisnopeuksille. (Lewis 1989, Larjo et al. 2010.)

Väylän ominaisuudet

Suomessa satamien sisääntuloväylät ovat usein kapeita ja mutkaisia, mikä johtuu saaristomme erityispiirteiden väyläsuunnittelulle asettamista vaatimuksista. Kapeat ja mutkaiset väylät vaikeuttavat navigointia ja tekevät alusten ohjailusta haastavaa erityisesti hankalissa luonnonolosuhteissa. Satamien sisääntuloväylät kulkevat usein varsinkin loppuosaltaan matalalla vesialueella. Kun alus liikkuu vesialueella, jossa vesisyvyyden ja aluksen syvyyksen suhde on pieni, pohja alkaa vaikuttaa aluksen rungon ympärillä oleviin virtauksiin niin, että aluksen kääntymiskyky heikkenee (Lewis 1989). Tämä ilmenee esimerkiksi käännökseen vaadittavan kaarresäteen kasvamisena ja suurempina tarvittavina peräsinkulmina käännöksissä (Rytönen ja Sassi 2002).

Jos väylän linjaus kulkee matalan veden alueella saaren tai vedenalaisen matalikon läheltä, väylällä kulkevaan alukseen kohdistuu ns. reunavaikutus (bank effect). Tässä ilmiössä liikkuvan aluksen synnyttämä painekenttä ei ehdi tasaantua ympäröivään veteen, vaan saaren tai matalikon reuna alkaa vaikuttaa alusta ympäröiviin virtauksiin. Aluksen keulan sivulle muodostuu ylipaine, joka pyrkii työntämään keulaa pois päin esteestä. Aluksen keskivaiheille ja erityisesti perään muodostuu alipaine, joka taas pyrkii imemään aluksen perää kohti estettä. Seurauksena reunavaikutuksesta voi olla aluksen kääntyminen pois halutusta kurssista ellei tätä vaikutusta kompensoida peräsinkulmaa muuttamalla. Reunailmiö voidaan havaita myös aluksen nopeuden äkillisenä laskuna, kun alus saapuu esimerkiksi ruopatulle alueelle tai vedenalaiselle

matalikolle, jonka kohdalla vesisyvyys on ympäröivää vesialuetta pienempi. (Larjo et al. 2010.)

Aluksen ominaisuudet

Aluksen ohjailuominaisuudet eri alustyyppien välillä vaihtelevat huomattavasti. Aluksen ohjailukykyyn vaikuttavat erityisesti aluksen koko, runkomuoto, konetehto sekä potkuri- ja peräsinjärjestelmän ominaisuudet. Pitkät, kapeat ja syvällä uivat alukset ovat lyhyitä, leveitä ja matalalla uivia aluksia suuntavakaampia, mutta myös kankeampia kääntymään (Larjo et al. 2010).

Aluksen ohjailukykyyn vaikuttaa suuntavakavuuden lisäksi aluksen peräsimen tehokkuus. Peräsimeen kohdistuu aluksen liikkuessa virtausta, josta suurin osa on potkurivirtausta. Peräsimen kääntämällä saadaan virtausta ohjattua niin, että sen synnyttämä ohjailuvoima pyrkii yhdessä aluksen runkoon kohdistuvan veden virtauksen aiheuttaman voiman kanssa kääntämään alusta haluttuun suuntaan. Peräsin toimii sitä tehokkaammin mitä suurempi on aluksen ja peräsimeen kohdistuvan potkurivirran nopeus. Myös peräsimen muodolla, koolla ja mahdollisilla lisävarusteilla on merkittävä vaikutus peräsimen tehokkuuteen. (Larjo et al. 2010.) Useissa nykyaikaisissa aluksissa käytetään tehoeräsimiä, joilla potkurivirtaa saadaan hyvin tehokkaasti ohjattua. Eräs tehoeräsintyyppi ns. Becker-peräsin, jonka takaosassa on erillinen nivelöity laippa, jolla saadaan peräsimen muoto epäsymmetriseksi. Epäsymmetrisyys lisää peräsimen tehokkuutta. (Keränen ja Leinonen 2009.)

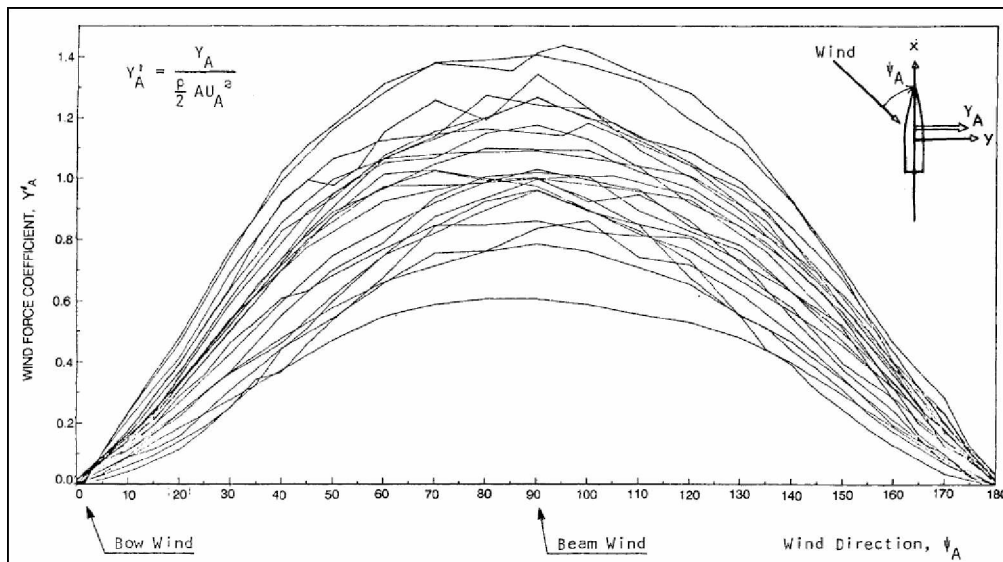
Yleisimmät käytössä olevat aluksen pääpropulsiolaitteen potkurityypit ovat kiinteäläpäinen (FPP, fixed pitch propeller) ja säätövälapainen (CPP, controllable pitch propeller) potkuri. FPP-potkurit ovat tyypillisiä konttialuksissa, CPP-potkurit taas autolautoissa sekä ro-ro- ja ropax-aluksissa. Näiden potkurityyppien eroavaisuudet aluksen ohjailun kannalta ovat huomattavia. CPP-potkurilla varustetun aluksen ei tarvitse pysäyttää ja vaihtaa koneen käyntisuuntaa, kun aluksen liikesuunta halutaan muuttaa eteen- ja taaksepäin. Liikesuunta vaihdetaan CPP-potkurin lapoja kääntämällä. Samassa tilanteessa FPP-potkurilla varustetun aluksen kone taas joudutaan pysäyttämään ja sen käyntisuunta vaihtamaan, mihin saattaa kulua useita minutteja. CPP-potkurilla voidaan myös FPP-potkuria paremmin hyödyntää koneen tehoa kaikissa kuormitustilanteissa. Kuormitustilanteet vaihtelevat ajettaessa eri syväyksillä, jäissä, matalassa vedessä tai kovassa merenkäynnissä. (Matusiak 2005.)

Pääpropulsiolaitteen lisäksi useissa aluksissa on erilaisia keula- ja peräpotkureita, jotka tuottavat alukselle sivuttaissuuntaista työntövoimaa. Näitä käytetään pääasiansa alhaisilla ohjailunopeuksilla satamamanooverien aikana sekä jäätälvinä jäärännissä ajettaessa. (Larjo et al. 2010.)

Luonnonolosuhteet

Tuuli ja aallokko ovat merkittävimpiä aluksen ohjailua vaikeuttavia luonnon häiriötekijöitä. Tavallisesti satamien sisääntuloväylät saaristossa ovat voimakkaan luonnonaallokon vaikutuksilta suojassa, joten aallokon vaikutus aluksen liikkeisiin ei ole yhtä voimakas kuin avomerellä. Kun tuulen nopeuden suhde aluksen nopeuteen on suuri, tuulen aiheuttama poikkeama aluksen kurssiin voi olla merkittävä jo keskikovillakin tuulilla. Tätä ulkoisen voiman aiheuttamaa poikkeamaa aluksen kurssiin kutsutaan sorroksi. Sortokulmaksi taas kutsutaan aluksen näennäisen liikesuunnan ja todellisen liikesuunnan välistä kulmaa. Tuulen aiheuttama aluksen sortokulma on riippuvainen tuulen nopeudesta ja suuntakulmasta alukseen nähden, aluksen tuulipinta-

alasta, runkomuodosta ja kulkunopeudesta. (Lewis 1989.) Kuvassa 24 on esitetty useille aluksille laskettu dimensioton aerodynaaminen kerroin tuulen aiheuttamalle sivuttaisvoimalle tuulen tulosuunnan funktiona. Tuulen aiheuttama sortovaikutus on tavallisesti suurimmillaan tuulen kohdatessa aluksen suoraan sivulta.



Kuva 24 Useille aluksille laskettu dimensioton aerodynaaminen kerroin tuulen aiheuttamalle sivuttaisvoimalle (Lewis 1989)

Konttialuksilla, roro- ja ropax-aluksilla sekä autolautoilla on usein varsin suuri tuulipinta-ala. Näillä aluksilla tuulen vaikutus aluksen ohjailuun on huomattava varsinkin alhaisilla ajonopeuksilla. Roro- ja ropax-aluksilla sekä autolautoilla on tavallisesti voimakkaat koneet ja tehokkaat potkuri- ja peräsinjärjestelmät. Niillä voidaan tehokkaasti kompensoida tuulen aiheuttamaa sortovaikutusta koneiden tehoa ja peräsinkulmia muuttamalla. Konttialuksissa konetehto on usein aluksen kokoon nähden pienempi, eivätkä potkuri- ja peräsinjärjestelmät ole yhtä tehokkaita. (Larjo et al. 2010.)

Virtaukset vaikuttavat aluksen liikkeeseen erityisesti aluksen kulkiessa alhaisella nopeudella rajoitetulla vesialueella. Virtausten vaikutustapa on samankaltainen kuin tuulella, mutta vaikutus kohdistuu aluksen rungon vedenalaiseen osaan (Lewis 1989). Tavallisesti virtausten vaikutus aluksen ohjailuun ei ole yhtä merkittävä kuin tuulella, mutta aluksilla, jotka liikkuvat suurella syvyyksellä virtausten vaikutus voi olla aluksen suuren vedenalaisen pinta-alan takia jopa tuulen vaikutusta suurempi. Virtausten vaikutusten arvioiminen ohjailutilanteissa on vaikeaa. Väylällä usein liikennöivien alusten päälliköt ja luotsit tuntevat tavallisesti paikalliset virtausolosuhteet. (Larjo et al. 2010.)

Vuosaaren väylän erityispiirteet aluksen ohjailun kannalta

Vuosaaren väylän linjaus on melko suora, käännöksiä väylällä on kaksi: ensimmäinen on väylän avomeriosuudella Itätoukin jälkeen ja toinen sisäosuudella Pikku-Niinisaaressa ja Mölandetin välisessä salmessa. Väylä on alkuosaltaan leveä (400–2000 m) ja kaksikaistainen, mikä tekee kahden aluksen kohtaamisen mahdolliseksi. Väylän loppuosaa taas on kapea (200–300 m) ja yksikaistainen. Suurten alusten kohtaamiset tapahtuvat yksikaistaisen osuuden puolivälissä olevalla kohtaamis- ja odotusalueella. Väylän suunnittelun yhteydessä varattiin mahdollisuus väylän kaksikaistaisen osuuden lisäämiseksi. Tämä voitaisiin käytännössä toteuttaa leventämällä väylää tai vaih-

toehtoisesti rakentamalla erillisen ulostuloaara väylän sataman puoleiseen päähän (Kostiainen 2008). Koska väylän liikennemäärät todennäköisesti lisääntyvät tulevaisuudessa, edellä kuvatut toimenpiteet voivat tulla ajankohtaisiksi.

Väylän alkupää Eestiluotoon asti on tuulille ja aallokolle altista avomeriosuutta. Eestiluodolta alkaen saaret ja karit antavat suojaa väylällä liikkuville aluksille, mutta varsinkin väylän kulkusuuntaan nähden sivulta puhaltavat tuulet ja aallokko vaikeuttavat alusten ohjailua väylällä. Alusten ohjailun kannalta haasteellisimmat osuudet ovat oletettavasti väylän kapeimmat kohdat ennen Kuiva-Hevosta sekä Krokholmenin kapeikon ja Pikku-Niinisaaressa mutkan välinen alue. Väyläalueen leveys on näissä kohdissa 200–300 m ja voimakkaan sivutuulen aiheuttama aluksen sivuttaissiirtymä voi alustyyppistä ja aluksen ajonopeudesta riippuen olla merkittävän suuri väyläalueen leveyteen nähden. Tällöin voidaan joutua käyttämään suuria peräsinkulmia kompensoimaan sortoa. Matalikkojen ja saarten kohdalla aluksiin kohdistuva reunavaikutus on otettava huomioon Krokholmenin kapeikossa, jossa väylän tiellä ollut matalikko ruopattiin väylän rakentamisen aikana pois. Kokemusten perusteella aluksen nopeus laskee äkillisesti, kun alus saapuu Krokholmenin kapeikon ruopatulle alueelle.

5.3 Kysely Vuosaaren väylällä operoiville alusten päälliköille ja luotseille

Kyselyn tavoitteet ja toteutus

Vuosaaren väylällä operoiville linjaliikenteen alusten päälliköille ja luotseille järjestettiin kysely, jonka tarkoituksena oli selvittää erilaisten alusten turvallisen ohjailun vaatimat vähimmäisnopeudet väylällä eri tuulioloissa. Kyselyssä selvitettiin kyselyyn osallistuneiden alusten perustiedot (alustyyppi, koko, pääkoneiden teho, potkurijärjestelmä), liikennöintitiheys väylällä (krt/vk) ja alusten vaatimat vähimmäisnopeudet eri väyläosilla eri tuuliolosuhteissa. Kysely toteutettiin sähköisesti täytettävällä kyselylomakkeella.

Kyselylomake lähetettiin sähköpostitse kaikille neljälle Vuosaaren väylällä säännöllisesti linjaliikenteessä operoivan varustamon (Finnlines, Tallink Silja, Eckerö Line, Navirail) yhteyshenkilölle. Vuosaaren väylällä toimiville luotseille suunnattu vastaavankaltainen kyselylomake lähetettiin luotsausliikelaitos Finnpilot Oy:n Helsingin luotsausalueen luotsivanhimmalle, joka välitti kyselylomakkeen 15 luotsille.

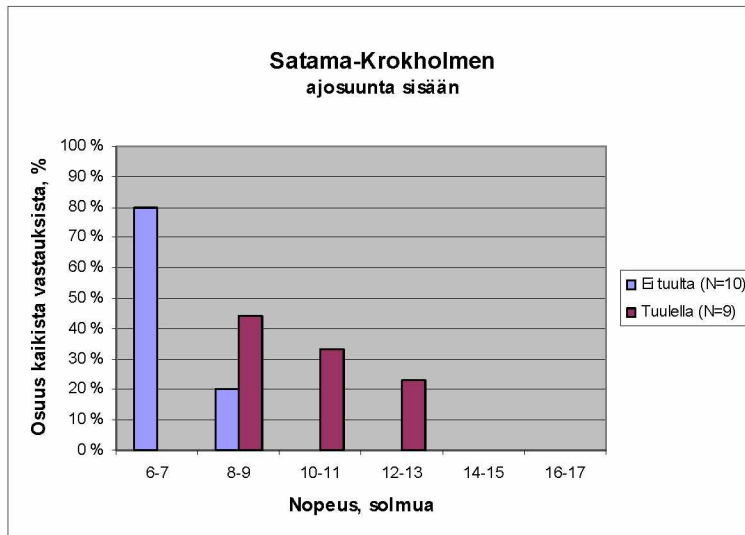
Linjaliikenteen alusten päälliköiltä saatiin kaiken kaikkiaan 10 vastausta (Finnlines 7, Tallink-Silja 1, Eckerö Line 1, Navirail 1). Kyselyyn vastanneet alusten päälliköt operoivat Vuosaaren satamassa roro- tai ropax-aluksilla tyypillisesti 2–4 kertaa viikossa, osa jopa kahdesti päivässä. Alusten pituudet vaihtelivat välillä 130–220 m, leveydet 22–31 m ja maksimisiväykset 5,7–7,2 m. Pääkoneita aluksissa oli tyypillisesti 2 tai 4 ja niiden kokonaistehot vaihtelivat alustyyppistä ja aluksen koosta riippuen välillä 9300–46000 kW. Valtaosassa aluksista oli 2 säätövalapaista CPP-potkuria ja useissa aluksissa lisäksi Becker-tehoperäsimet.

Luotsit eivät katsoneet voivansa vastata kyselyyn suoraan, sillä luotsattavia aluksia ja alustyyppisiä Vuosaaren väylällä on useita, ja jokaisen aluksen ohjailulla on omat yksilölliset erityispiirteensä. Luotsinvanhin kokosi sen sijaan yhteen luotsien näkemyk-

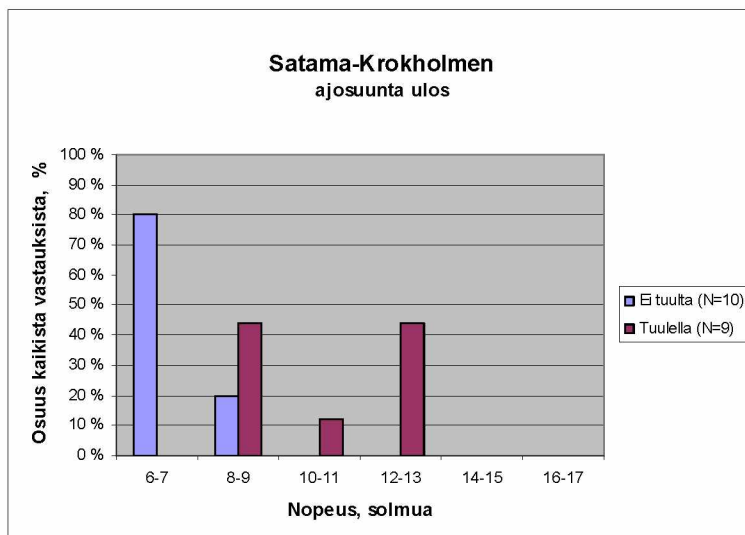
set väylän nykyisistä nopeusrajoituksista luotsattavien alusten ohjailun näkökulmasta.

Kyselyn tulokset

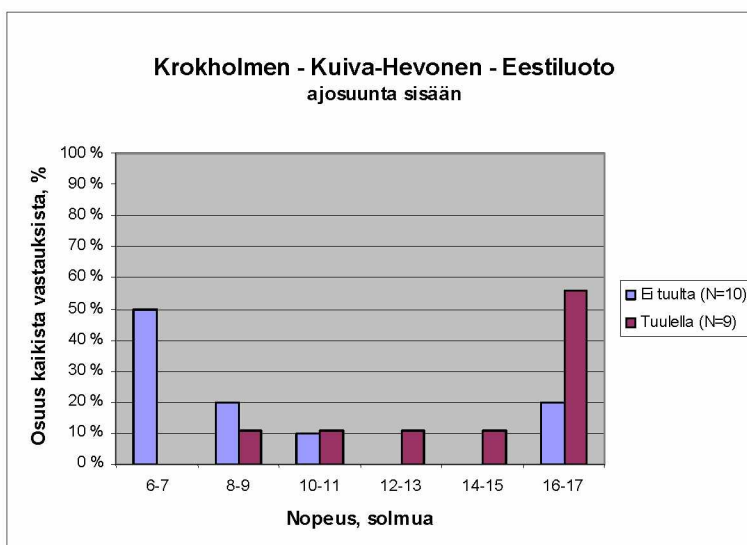
Kuvissa 25–28 on esitetty linjaliikenteen alusten päälliköiden vastausten perusteella alusten vaatimat vähimmäisnopeudet eri väyläosilla eri ajosuunnissa. Kuvissa vastausten lukumäärät eri nopeuksille on esitetty prosentuaalisina osuuksina kaikista vastauksista.



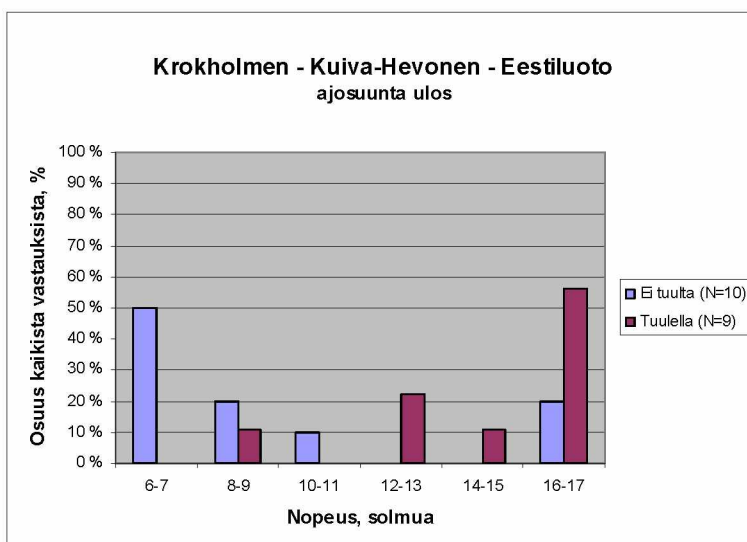
Kuva 25 Alusten vähimmäisnopeudet, ajosuunta sisään



Kuva 26 Alusten vähimmäisnopeudet, ajosuunta ulos



Kuva 27 Alusten vähimmäisnopeudet, ajosuunta sisään



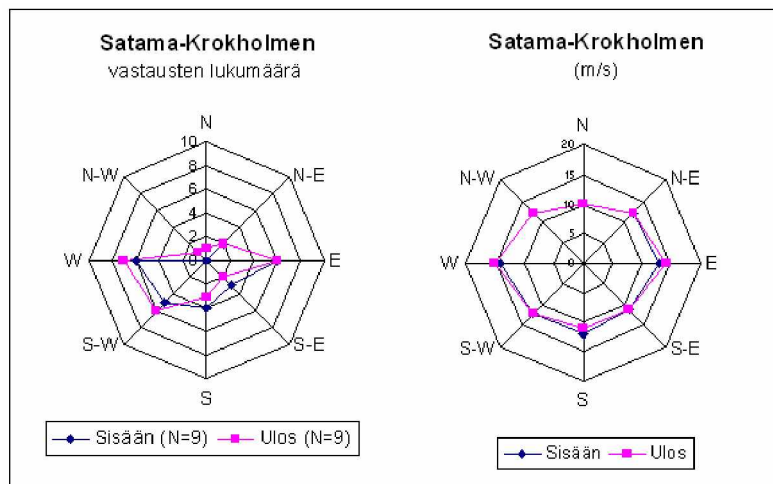
Kuva 28 Alusten vähimmäisnopeudet, ajosuunta ulos

Vertailtaessa kuvissa 25–28 esitettyjä pylväskuvaajia ”ei tuulta” ja ”tuulella” keskenään, voidaan selvästi havaita tuulen aiheuttama tarve aluksen nopeuden lisäämiseen. Tilanteessa, jossa tuuli ei vaikeuta ohjailua, alusten vaatimat vähimmäisnopeudet väylänosalla satama–Krokholmen vaihtelevat 6–9 solmun (11–17 km/h) välillä sekä sisään että ulos ajettaessa. Vastaajista suurimman osan (80 %) mielestä vähimmäisnopeus on tällöin 6–7 solmua. Tilanteessa, jossa tuuli vaikeuttaa ohjailua, vaadittavat vähimmäisnopeudet kasvavat selvästi ja vaihtelevat välillä 8–13 solmua (15–24 km/h) molemmissa ajosuunnissa.

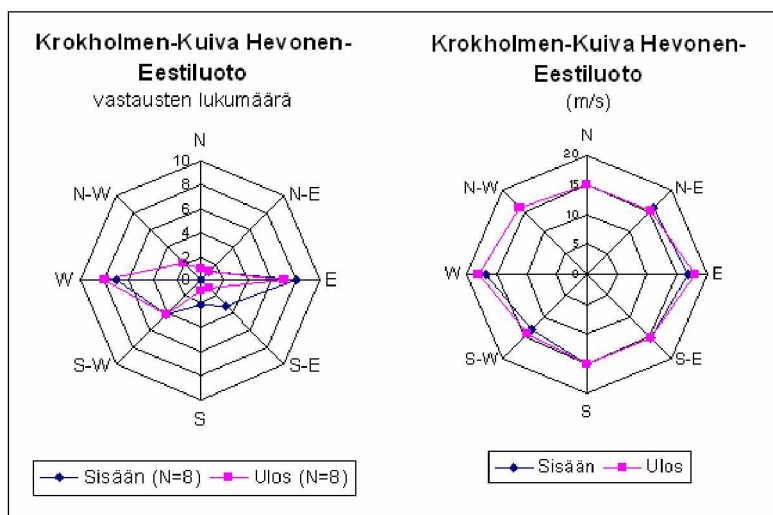
Tilanteessa, jossa tuuli ei vaikeuta ohjailua, vaadittavat vähimmäisnopeudet ovat väylänosalla Krokholmen–Kuiva-Hevonen–Eestiluoto pääsääntöisesti 6–11 solmua (11–20 km/h) molemmissa ajosuunnissa. Puolet vastaajista kertoi vähimmäisnopeuden olevan tällöin 6–7 solmua. Osa vastaajista (20 %) kertoi vähimmäisnopeuden olevan jopa 16–17 solmua (30–31 km/h). Tilanteessa, jossa tuuli vaikeuttaa ohjailua, yli puolet vastaajista (56 %) määritteli vähimmäisnopeuden välille 16–17 solmua molemmissa

ajosuunnissa. Loput vastauksista jakaantuivat melko tasaisesti eri nopeusluokille välillä 8–15 solmua (15–28 km/h) alinta luokkaa lukuun ottamatta.

Kuvassa 29 on esitetty vastaajien kokemusten perusteella tuulensuunnat (vasen) ja niitä vastaavat keskimääräiset tuulennopeudet (oikea), joilla alusten ohjailu alkaa vaikeutua välillä satama – Krokholmen. Kuvassa 30 on esitetty vastaavat arvot välillä Krokholmen – Kuiva-Hevonen – Eestiluoto. Kuvissa tuulensuunnat ja -nopeudet on esitetty ns. tuulisektorikuvaajina. Kyselyyn vastanneet mainitsivat yleensä useita tuulensuuntia, minkä vuoksi kuvien selitteissä on kerrottu vastaajien lukumäärät.



Kuva 29 Alusten ohjailua vaikeuttavat tuulensuunnat (vasen) ja niitä vastaavat keskimääräiset tuulennopeudet (oikea) välillä satama–Krokholmen



Kuva 30 Alusten ohjailua vaikeuttavat tuulensuunnat (vasen) ja niitä vastaavat keskimääräiset tuulennopeudet (oikea) välillä Krokholmen–Kuiva-Hevonen–Eestiluoto

Vastausten perusteella aluksen ohjailun kannalta hankalimmiksi tuulensuunniksi koetaan erityisesti W–SW ja E–SE suunnista puhaltavat tuulet, jotka kohtaavat likimain S–N -suuntaisella väylällä liikkuvan aluksen suoraan tai viistosti sivulta. Hankalaksi koetaan myös etelätuuli, joka kohtaa aluksen sisään ajettaessa takaa ja ulos ajettaes-

sa edestä. Ohjailua hankaloittavia tuulensuuntia vastaavat keskimääräiset tuulennopeudet ovat vastausten perusteella välillä Satama–Krokholmen luokkaa 11–15 m/s ja välillä Krokholmen–Kuiva-Hevonen–Eestiluoto 13–18 m/s.

Luotsien mukaan väylän nykyinen 30/17 km/h nopeusrajoitus on luotsattavien alusten turvallisen ohjailun kannalta pääosin riittävä. Konttialuksilla, joiden syväys on lähellä väylän kulkusyvyyttä, ei 30 km/h rajoitusalueella ole edes mahdollista ajaa suuremmilla nopeuksilla, sillä nopeuden lisääntyessä myös aluksen nopeuspainuma kasvaa ja tällöin pohjakosketuksen vaara on olemassa. Sisään ajettaessa väylän loppuosan 17 km/h rajoitus on myös riittävä. Alusten nopeutta joudutaan joka tapauksessa laskemaan, kun lähestytään Pikku-Niinisaaren edustan käännöstä ja satamallasta. Sen sijaan ulos ajettaessa 17 km/h rajoitus voisi luotsien mukaan olla alusten ohjailun näkökulmasta nykyistä suurempi. (Ketonen 2010.)

Tulosten arviointia

Kyselyn perusteella Vuosaaren väylällä operoivilla roro- ja ropax-aluksilla on tyypillisesti tehokkaita ohjailulaitteita ja voimakkaat pääkoneet. Alusten ohjailtavuus voidaan tyynellä kelillä säilyttää muutamilla aluksilla vielä niinkin alhaisella kuin 5–7 solmun ns. dead slow -nopeudella. Roro- ja ropax-alusten ohjailun kannalta ongelmallisena voidaan nähdä alusten suuri tuulipinta-ala ja sitä kautta melko heikkojenkin tuulten aiheuttama sorto. Aluksen kulkiessa normaalia pienemmällä syväyksellä tuulen aiheuttama sorto lisääntyy. Kun alus on lähtenyt satamasta ja ohittanut suojaisten Pikku-Niinisaaren mutkan, avoimella selällä puhaltava tuuli voi erään vastaajan mukaan ylittäen ”tarttua kiinni” alukseen, jolloin aluksella tulee olla riittävästi nopeutta kytkäkseen säilyttämään kurssinsa.

Roro- ja ropax-alusten vaatimissa vähimmäisnopeuksissa ei eri aluskokojen välillä kyselyvastausten perusteella ollut suuria eroja. Sen sijaan samanlaisten, ns. sisäralusten päälliköiden mielipiteet vaadittavista nopeuksista saattoivat olla keskenään hyvinkin erilaisia. Vähimmäisnopeudet niin sisään kuin ulos ajettaessa olivat likimain samat. Sen sijaan eri väyläosilla vaadittavissa nopeuksissa erot olivat suuret. Välillä Krokholmen–Kuiva-Hevonen–Eestiluoto tarvitaan vesialueen avoimuuden vuoksi väliä satama–Krokholmen suurempia nopeuksia.

Vastausten perusteella väylän nykyinen 30 km/h nopeusrajoitus välillä Krokholmen–Kuiva-Hevonen on niin kontti-, roro- kuin ropax-alustenkin turvallisen ohjailun kannalta riittävä molemmissa ajosuunnissa kaikissa tavanomaisissa tuuliolosuhteissa. Heikoilla tuulilla tällä väyläosuudella useimpien alusten on mahdollista kulkea myös nykyistä rajoitusta alhaisemmilla nopeuksilla. Tuulen puhaltaessa erityisesti suunnista W–SW ja E–SE tarvittavat vähimmäisnopeudet lähestyvät väyläosuuden nykyistä nopeusrajoitusta. Vastausten perusteella keskimääräiset tuulennopeudet, joilla alusten ohjailu alkaa vaikeutua vaihtelevat alustyyppistä ja tuulensuunnasta riippuen välillä 13–18 m/s. Muutamilla aluksilla ohjailu alkaa jo vaikeutua tuulennopeuden ylittäessä nopeuden 10 m/s.

Väylän loppuosan nykyinen 17 km/h nopeusrajoitus katsottiin heikoilla tuulilla olevan niin kontti-, roro- ja ropax-alustenkin ohjailun näkökulmasta riittävä molemmissa ajosuunnissa. Sen sijaan kovemmilla tuulilla tuulen puhaltaessa erityisesti suunnista W–S–E alusten turvallinen ohjailu vaatisi roro- ja ropax-aluksilla monen vastaajan mielestä molemmissa ajosuunnissa vähintään 10–13 solmun (19–24 km/h) nopeuksia. Kovemmilla tuulilla myös konttialusten turvallinen ohjailu vaatisi erityisesti ulos ajet-

taessa nykyistä 17 km/h rajoitusta suurempaa nopeutta. Vastausten perusteella keskimääräiset tuulennopeudet, joilla alusten ohjailu alkaa vaikeutua vaihtelevat alustyyppistä ja tuulensuunnasta riippuen välillä 11–15 m/s.

5.4 Alusliikenteen ohjaus ja liikenteen sujuvuus

Alusliikenteen ohjaus

Vuosaaren väylän alusliikennettä ohjaavalta Suomenlahden meriliikennekeskukselta tiedusteltiin väylän nopeusrajoitusten vaikutuksia alusliikenteen ohjaukseen ja liikenteen sujuvuuteen väylällä. Tiedustelun avulla pyrittiin selvittämään seuraavia asioita:

- Miten väylän nykyiset nopeusrajoitukset vaikuttavat alusliikenteen ohjaukseen ja alusliikenteen sujuvuuteen.
- Miten tilanne muuttuu, jos
 - nopeusrajoituksia nostetaan/lasketaan
 - nopeusrajoitukset ovat eri ajosuuntiin (sisään/ulos) erilaisia
 - nopeusrajoitukset ovat talvi- ja kesäkaudella erilaisia.

Meriliikennekeskuksen alusliikenneohjaajien mukaan väylälle asetetut nopeusrajoitukset luonnollisesti hidastavat liikennettä väylällä ja erityisesti sen yksikaistaisella osalla, jossa on voimassa alusten ohittamis- ja kohtaamiskielto. Aluksille jaetaan ajovuorot ilmoittautumisjärjestyksessä ja muut alukset joutuvat odottamaan vuoroaan sitä kauemmin mitä hitaammin etuajo-oikeuden saanut alus joutuu väylällä kulkemaan. Jos nopeusrajoituksia laskettaisiin, alusten odotusajat edelleen pitenisivät. Nopeusrajoitusten laskeminen vaikeuttaisi myös alusten ohjailua väylällä kovalla tuulella, mikä heikentää alusturvallisuutta. Nopeusrajoituksia ei tulisi alusliikenneohjaajien mukaan laskea vaan nostaa, jos se vaan on suinkin mahdollista. Liikenteen sujuvuutta väylällä edistäisi, mikäli rajoitusta voitaisiin nostaa edes toisessa ajosuunnassa. Alusliikenneohjaajien mukaan nopeusrajoitusten tulisi olla niin kesä- kuin talvikaudellakin samanlaisia. Eriaiset rajoitukset eri kausina aiheuttaisivat epäselvyyttä väylän käyttäjien keskuudessa ja vaikeuttaisivat alusliikenteen hallintaa. (Talja 2010.)

Satama

Vuosaaren satamakeskuksen johtajalta tiedusteltiin väylän nopeusrajoitusten vaikutuksia sataman operointiin. Satamakeskuksen johtajan mukaan tilanteessa, jossa väylälle asetetaan tiukkoja nopeusrajoituksia alusten matka-ajat pidentyvät, mikä voi aiheuttaa ongelmia alusten aikataulujen pitävyydelle. (Noroviita 2010.) Linjaliikenteessä on tyypillisesti tiukat aikataulut. Yksi tärkeimmistä linjaliikenteen kilpailueduista on kuljetusten täsmällisyys ja nopeus. Tämän kilpailuedun säilyttämisen kannalta onkin hyvin tärkeää, että alukset pysyvät aikataulussaan.

Väylälle määrätyt alhaiset nopeusrajoitukset voivat edesauttaa väylän ruuhkautumista väylän yksikaistaisella osuudella tilanteessa, jossa useat alukset saapuvat tai ovat lähdössä satamasta samanaikaisesti. Väylän mahdollinen ruuhkautuminen pidentäisi satamakeskuksen johtajan mukaan alusten odotusaikoja ja siten aiheuttaisi viivytyksiä alusten aikatauluihin. Aikataulustaan myöhässä oleva alus joutuisi tällöin aja-

maan tavallista matkanopeutta suuremmalla nopeudella saadakseen menetetyn ajan kiinni, mikä lisäisi aluksen polttoaineenkulutusta ja polttoainekustannuksia. Satamakeskuksen johtajan mukaan alusten myöhästymiset lisäisivät myös satamatyöntekijöiden odotusaikoja ja nostaisivat sitä kautta työvoimakustannuksia. (Noroviita 2010.)

6 Väylän alusliikenteen polttoaineenkulutus, päästöt ja kustannukset

6.1 Meriliikenteen päästöt

Tulevaisuudessa meriliikenteen päästöjä koskevat kansainväliset rajoitukset edelleen tiukentuvat, minkä vuoksi niin kansallisen kuin kansainvälisenkin meriliikenteen päästötason tunteminen on välttämätöntä. (Kämäräinen et al. 2009.) Vesiliikennettä pidetään yleisesti energiatehokkaana ja ympäristöystävällisenä kuljetusmuotona kuljetussuoritteisiin nähden. Vesiliikenteen päästöillä on kuitenkin omat erityispiirteensä verrattaessa niitä muiden liikennemuotojen päästöihin. Tämä johtuu ennen kaikkea vesiliikenteen polttoaineiden korkeista rikkipitoisuuksista. (Mäkelä et al. 2009.)

Rahtiliikenteessä alusten pääkoneiden voimanlähteenä käytetään tyypillisesti raskasta polttoöljyä ja aluksen sisäiseen energiantuotantoon käytettävissä apukoneissa kevyttä polttoöljyä. Satamalaiturissa yleensä vain apukoneet ovat käynnissä. Niin raskaasta kuin kevyestäkin polttoöljystä syntyvät tärkeimmät päästöt ovat rikkidioksidi (SO_2), typen oksidit (NO_x), hiilivedyt (HC), hiukkaset, hiilimonoksidi (CO) ja hiilidioksidi (CO_2). Vuonna 2008 vesiliikenteen aiheuttamien typen oksidien määrä oli noin 52 %, ja rikkidioksidin jopa 97 % Suomen kaikkien liikennemuotojen typen oksidi- ja rikkidioksidipäästöistä. Typen oksidit ja rikkidioksidi ovatkin alusliikenteen merkittävimmät ilmastopäästölajit ja näiden päästöjen vähentäminen on suuri haaste vesiliikenteelle. (Mäkelä et al. 2009.)

Alusliikenteessä nopeudella on tunnetusti hyvin merkittävä vaikutus polttoaineenkulutukseen ja sitä kautta syntyviin savukaasupäästöihin (Kämäräinen et al. 2009, LIPASTO 2010 a). Aluksen polttoaineenkulutuksen muutosta suhteessa nopeuden muutokseen voidaan arvioida ns. amiraliteettikaavalla (4) ja sen muunnoksella (5) (Kämäräinen et al. 2009). Yleisesti tunnettu amiraliteettikaava osoittaa, että aluksen polttoaineenkulutus muuttuu nopeuden muutokseen nähden likimain suhteessa kolmanteen potenssiin, kun aluksen nopeus on lähellä suunnittelunopeutta. Kaavan on todettu pätevän muillakin nopeusalueilla ainakin karkeassa laskennassa (LIPASTO 2010 a).

$$F = F^* \left(\frac{S}{S^*} \right)^a \quad (4)$$

jossa

F	= polttoaineenkulutus (t/vrk)
F*	= polttoaineenkulutus suunnittelunopeudella
S*	= suunnittelunopeus
S	= todellinen nopeus
a	= vakio, jonka arvo on noin 3.

Jos otetaan huomioon kuljettu matka voidaan amiralteettikaava kirjoittaa muotoon (Kämäräinen et al. 2009)

$$Y = x^2 + 2x \quad (5)$$

jossa

Y = polttoaineenkulutuksen muutos prosentteina tietyllä matkalla

x = nopeuden muutos prosentteina.

Kaavan 5 mukaan nopeuden lisääntyessä esimerkiksi 44 % (esim. 18 \Rightarrow 26 solmua) polttoaineenkulutus kaksinkertaistuu.

Koska aluksen polttoaineenkulutus riippuu voimakkaasti aluksen kulkunopeudesta, on mielenkiintoista tietää, kuinka paljon sataman sisääntuloväylälle asetetut nopeusrajoitukset vaikuttavat vuositason väylän alusliikenteen polttoaineenkulutukseen ja päästöihin sekä näistä aiheutuviin kustannuksiin. Seuraavassa on esitetty lyhyesti Vuosaaren väylälle diplomityössä (Paukkeri 2010) tehty väylän alusliikenteen polttoaineenkulutus, -päästö ja -kustannuslaskelma.

6.2 Väylän polttoaineenkulutus, -päästö- ja kustannuslaskelma

Laskentamalli

Erialaisten nopeusrajoitusten vaikutuksia Vuosaaren väylällä alusten päästöihin ja polttoaineenkulutukseen sekä näistä aiheutuviin päästö- ja polttoainekustannuksiin arvioitiin vuositason meriliikenteen päästömallia MERIMAA hyödyntämällä. MERIMA-laskentamalli on Sito Oy:n, VTT:n ja Liikenneviraston yhteisprojektissa vuonna 2009 kehitetty laskentamalli, joka laskee Suomen ja ulkomaiden välisten merikuljetusten polttoaineenkulutuksen ja päästöt sekä niiden kustannukset. MERIMA-laskentamalli perustuu monilta osin Suomen kaikkien liikennemuotojen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO:n meriliikenteen MEERI-laskentamalliin.

Laskennassa käytettiin MERIMA päästövertailumallin vapaavalintasovellusta. Mallia ei varsinaisesti ole tarkoitettu laskentaan yksittäisillä väylillä, mutta mallia hyödyntämällä voidaan saada suuntaa antavia arvioita nopeusrajoitusten vaikutuksista alusten päästöihin ja polttoaineenkulutukseen sekä näiden kustannuksiin. Kuvassa 31 on esitetty MERIMA-vertailumallisovelluksen päävalikkonäkymä.

SUOMEN KANSAINVÄLISEN MERILIIKENTEEN PÄÄSTÖVERTAILUMALLI 2008																								
<div> <div> <div>KULJETUS 1</div> <div> <div>1) Syötä etäisyys ja lastimäärä</div> <div> <div>Syötä etäisyys</div> <div>1000 km</div> </div> <div> <div>Syötä lastimäärä</div> <div>4000 tonnia</div> </div> </div> <div> <div>2) Valitse alustyyppi ja aluksen koko</div> <div> <div>Valitse alustyyppi</div> <div>Roro lastialus</div> <div> <div>Muuta aluksen kokoa</div> <div>Suuremman</div> <div>Pienemmän</div> </div> <div> <div>Aluksen koko</div> <div>330 traileria</div> <div>+120 %</div> </div> </div> </div> </div></div>															<div> <div>KULJETUS 2</div> <div> <div>1) Syötä etäisyys ja lastimäärä</div> <div> <div>Syötä etäisyys</div> <div>1000 km</div> </div> <div> <div>Syötä lastimäärä</div> <div>4000 tonnia</div> </div> </div> <div> <div>2) Valitse alustyyppi ja aluksen koko</div> <div> <div>Valitse alustyyppi</div> <div>Roro lastialus</div> <div> <div>Muuta aluksen kokoa</div> <div>Suuremman</div> <div>Pienemmän</div> </div> <div> <div>Aluksen koko</div> <div>330 traileria</div> <div>+120 %</div> </div> </div> </div> </div>									
<div> <div>3) Valitse ja syötä polttoainetiedot</div> <div> <div> <div>Muuta osuutta</div> <div> <div>Raskas polttoöljy (HFO)</div> <div>85 %</div> </div> <div> <div>Kevyt polttoöljy (MDO/GO)</div> <div>15 %</div> </div> </div> <div> <div> <div>Lisää</div> <div>Vähennä</div> </div> <div> <div>1.4 %</div> <div>0.1 %</div> </div> </div> <div> <div> <div>Syötä hinta*</div> <div>344 €/tonni</div> <div>617 €/tonni</div> </div> <div> <div>Keskimääräinen</div> <div>1.2 %</div> <div>304.95 €/tonni</div> </div> </div> </div> </div>															<div> <div>3) Valitse ja syötä polttoainetiedot</div> <div> <div> <div>Muuta osuutta</div> <div> <div>Raskas polttoöljy (HFO)</div> <div>85 %</div> </div> <div> <div>Kevyt polttoöljy (MDO/GO)</div> <div>15 %</div> </div> </div> <div> <div> <div>Lisää</div> <div>Vähennä</div> </div> <div> <div>1.4 %</div> <div>0.1 %</div> </div> </div> <div> <div> <div>Syötä hinta*</div> <div>344 €/tonni</div> <div>617 €/tonni</div> </div> <div> <div>Keskimääräinen</div> <div>1.2 %</div> <div>304.95 €/tonni</div> </div> </div> </div> </div>									
<div> <div>4) Valitse aluksen keskimääräinen matkanopeus</div> <div> <div> <div>Oletusnopeus</div> <div>18.0 solmia</div> <div>33.3 km/h</div> </div> <div> <div>Muuta oletusnopeutta</div> <div>Lisää</div> <div>Vähennä</div> </div> <div> <div>5.0 %</div> <div>18.9 solmia</div> <div>35.0 km/h</div> </div> </div> </div>															<div> <div>4) Valitse aluksen keskimääräinen matkanopeus</div> <div> <div> <div>Oletusnopeus</div> <div>18.0 solmia</div> <div>33.3 km/h</div> </div> <div> <div>Muuta oletusnopeutta</div> <div>Lisää</div> <div>Vähennä</div> </div> <div> <div>25.0 %</div> <div>13.5 solmia</div> <div>25.0 km/h</div> </div> </div> </div>									
<div> <div>TULOKSET</div> <div> <div>Reitti- ja lastitiedot</div> <div> <div>Pituus (km)</div> <div>1000</div> </div> <div> <div>Suorite (miljoonia tonnikm)</div> <div>4000</div> </div> </div> <div> <div>Aluksen tiedot</div> <div> <div>Tyyppi</div> <div>Roro lastialus</div> </div> <div> <div>Koko</div> <div>330 traileria</div> </div> </div> <div> <div>Polttoainetiedot</div> <div> <div>Kulutus (tonnia)</div> <div>110.1</div> </div> <div> <div>Kustannus (milj. €)</div> <div>0.042</div> </div> </div> <div> <div>Hiilimonoksidit (CO)</div> <div>0.29</div> </div> <div> <div>Hiilivedyt (HC)</div> <div>0.06</div> </div> <div> <div>Typpen oksidit (NOx)</div> <div>7.26</div> </div> <div> <div>Huikkaset (PM)</div> <div>0.17</div> </div> <div> <div>Metaani (CH4)</div> <div>0.03</div> </div> <div> <div>Typpi-oksidi (H2O)</div> <div>0.01</div> </div> <div> <div>Rikki-oksidi (SO2)</div> <div>2.80</div> </div> <div> <div>Hiilidioksidi (CO2)</div> <div>351</div> </div> <div> <div>Hiilidioksidiekvivalentti (CO2e)</div> <div>354</div> </div> </div>															<div> <div>TULOKSET</div> <div> <div>Reitti- ja lastitiedot</div> <div> <div>Pituus (km)</div> <div>1000</div> </div> <div> <div>Suorite (miljoonia tonnikm)</div> <div>4000</div> </div> </div> <div> <div>Aluksen tiedot</div> <div> <div>Tyyppi</div> <div>Roro lastialus</div> </div> <div> <div>Koko</div> <div>330 traileria</div> </div> </div> <div> <div>Polttoainetiedot</div> <div> <div>Kulutus (tonnia)</div> <div>110.1</div> </div> <div> <div>Kustannus (milj. €)</div> <div>0.042</div> </div> </div> <div> <div>Hiilimonoksidit (CO)</div> <div>0.29</div> </div> <div> <div>Hiilivedyt (HC)</div> <div>0.06</div> </div> <div> <div>Typpen oksidit (NOx)</div> <div>7.26</div> </div> <div> <div>Huikkaset (PM)</div> <div>0.17</div> </div> <div> <div>Metaani (CH4)</div> <div>0.03</div> </div> <div> <div>Typpi-oksidi (H2O)</div> <div>0.01</div> </div> <div> <div>Rikki-oksidi (SO2)</div> <div>2.80</div> </div> <div> <div>Hiilidioksidi (CO2)</div> <div>351</div> </div> <div> <div>Hiilidioksidiekvivalentti (CO2e)</div> <div>354</div> </div> </div>									
<div> <div>PAASTOKUSTANNUKSET</div> <div> <div>Mallin käyttämät yksikkökustannukset (€/päästötonni)</div> <div> <div>Hiilivedyt (HC)</div> <div>17</div> </div> <div> <div>Typpen oksidit (NOx)</div> <div>160</div> </div> <div> <div>Huikkaset (PM)</div> <div>990</div> </div> <div> <div>Rikki-oksidi (SO2)</div> <div>2630</div> </div> <div> <div>Hiilidioksidi (CO2)</div> <div>32</div> </div> </div> <div> <div>Satamassa</div> <div> <div>Rannikolla</div> <div>2.00</div> </div> <div> <div>Avomerellä</div> <div>0.40</div> </div> </div> <div> <div>Syötä omat yksikkökustannukset (€/päästötonni)</div> <div> <div>CO</div> <div>17</div> </div> <div> <div>HC</div> <div>160</div> </div> <div> <div>NOx</div> <div>990</div> </div> <div> <div>PM</div> <div>2630</div> </div> <div> <div>SO2</div> <div>2630</div> </div> <div> <div>CO2</div> <div>32</div> </div> </div> <div> <div>Satamassa</div> <div> <div>Rannikolla</div> <div>2</div> </div> <div> <div>Avomerellä</div> <div>0.40</div> </div> </div> </div>															<div> <div>PAASTOKUSTANNUKSET</div> <div> <div>Mallin käyttämät yksikkökustannukset (€/päästötonni)</div> <div> <div>Hiilivedyt (HC)</div> <div>17</div> </div> <div> <div>Typpen oksidit (NOx)</div> <div>160</div> </div> <div> <div>Huikkaset (PM)</div> <div>990</div> </div> <div> <div>Rikki-oksidi (SO2)</div> <div>2630</div> </div> <div> <div>Hiilidioksidi (CO2)</div> <div>32</div> </div> </div> <div> <div>Satamassa</div> <div> <div>Rannikolla</div> <div>2.00</div> </div> <div> <div>Avomerellä</div> <div>0.40</div> </div> </div> <div> <div>Syötä omat yksikkökustannukset (€/päästötonni)</div> <div> <div>CO</div> <div>17</div> </div> <div> <div>HC</div> <div>160</div> </div> <div> <div>NOx</div> <div>990</div> </div> <div> <div>PM</div> <div>2630</div> </div> <div> <div>SO2</div> <div>2630</div> </div> <div> <div>CO2</div> <div>32</div> </div> </div> <div> <div>Satamassa</div> <div> <div>Rannikolla</div> <div>2</div> </div> <div> <div>Avomerellä</div> <div>0.40</div> </div> </div> </div>									

Kuva 31 MERIMA-vertailumallin laskentasovellus

Laskennan lähtötiedot ja oletukset

Laskennassa tarvittiin seuraavat lähtötiedot:

- väylän vuotuinen liikennemäärä
- väylällä tyypillisesti liikkuvat alukset, ns. tyyppialukset
- eri tyyppialusten osuudet väylän kokonaisliikennemäärästä
- nopeusrajoitusosuudet ja niiden pituudet väylällä.

Laskelmissa käytettiin alusliikenteen kokonaismäärinä 3100, 4000 ja 5000 alusta vuodessa. Vuonna 2009 kokonaisliikennemäärä oli noin 3100 alusta (Helsingin Satama 2010). Alusliikenteen odotetaan kasvavan tulevaisuudessa, joten tämä mahdollinen kasvu otettiin laskennassa huomioon.

Laskennassa väylän tyyppialuksina käytettiin (vrt. taulukko 1 sivulla 17)

- 1300 TEU:n konttialusta
- 1000 TEU:n konttialusta
- 330 trailerin ropax-alusta
- 150 trailerin roro-alusta.

Tällä hetkellä Vuosaaren sataman alusliikenteestä konttialuksia on noin 1/3 ja ropax- ja roro-aluksia noin 2/3 (Noroviita 2009). Erialaisten alustyyppien osuudet kokonaisliikennemäärästä oletettiin vakioksi kaikilla liikennemäärillä. Yli 1000 TEU:n konttialuksia satamassa käy melko harvoin ja niiden osuudeksi (1300 TEU konttialus) kaikista konttialuksista arvioitiin 1/9 ja edelleen 1/27 kokonaisliikennemäärästä. 1000 TEU:n konttialusten osuudeksi arvioitiin 8/9 konttialuksista ja edelleen 8/27 kokonaisliikennemäärästä. Ropax-alusten osuuden oletettiin olevan 1/3 kokonaisliikenteen määrästä. Roro-alusten osuuden kokonaisliikennemäärästä oletettiin olevan sama kuin ropax-aluksilla eli 1/3 kokonaisliikennemäärästä.

Väylän nopeusrajoituksille asetettiin laskennassa kolme erilaista vaihtoehtoa:

- Vaihtoehto 1: Ei nopeusrajoituksia, vapaat alusnopeudet koko väylän matkalla
- Vaihtoehto 2: Nykyinen nopeusrajoitus, 30/17 km/h (laskentasovelluksen rajoitteista johtuen 30/20 km/h)
- Vaihtoehto 3: Nopeusrajoitusta lasketaan, 20/17 km/h -rajoitus (laskennassa 20/20 km/h)

Taulukossa 8 on esitetty laskennassa käytettyjen alustyyppien arvioidut nopeudet eri väyläosuuksilla kussakin nopeusrajoitusvaihtoehdossa (1–3). Taulukossa esitetyt väyläosuudet ovat:

- 1) Väylän alkupää – Eestiluoto – Kuiva-Hevonen (kokonaispituus 28,5 km)
- 2) Kuiva-Hevonen – Krokholmen (kokonaispituus 4,0 km)
- 3) Krokholmen – Vuosaaren satama (kokonaispituus 3,5 km)

Taulukko 8 Arvioidut alusnopeudet vaihtoehdoittain eri väyläosuuksilla

		Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
Alustyyppi	Väyläosuus	Nopeus km/h	Nopeus km/h	Nopeus km/h
Konttialukset	1	30	30	30
	2	30	30	20
	3	25	17	20
Ropax-alukset	1	40	40	40
	2	40	30	20
	3	30	17	20
Roro-alukset	1	35	35	35
	2	35	30	20
	3	30	17	20

Vaikka väylällä ei olisikaan nopeusrajoituksia, alukset eivät kykenisi kuitenkaan ajamaan koko väylän matkalla avomerellä käyttämillään matkanopeuksilla. Esimerkiksi sellaiset konttialukset, joiden ajonaikainen syväys on lähellä väylän kulkusyvyyttä, joutuvat ottamaan nopeuspainuman huomioon valitessaan väylällä käyttämänsä ajonopeuden. Taulukon 8 arviot alusnopeuksista voidaan olettaa olevan hyvin lähellä vastaavassa tilanteessa alusten käyttämiä todellisia ajonopeuksia.

Laskennassa käytettiin laskentamallissa oletuksena olevaa 85 % osuutta raskaalle ja 15 % osuutta kevyelle polttoöljylle polttoaineen kokonaiskulutuksesta. Polttoaineiden rikkipitoisuuksina käytettiin niin ikään mallissa oletuksena olevaa 1,4 % osuutta raskaalle ja 0,1 % kevyelle polttoöljylle. Polttoaineiden ja päästöjen yksikkökustannuksina käytettiin mallin käyttämiä yksikkökustannuksia, jotka ovat peräisin Merenkululaitoksen *Aluskustannukset 2009* -julkaisusta (Kämäräinen et al. 2009). Päästöyksikkökustannuksina laskennassa käytettiin yksikkökustannuksia rannikolla. Nykyisin käytössä olevat yksikköpäästökustannukset ovat 2000-luvun alkupuolelta ja niiden päivittämisestä ja uudistamisesta lähitulevaisuudessa on käyty keskustelua.

Laskennan tulokset

Laskennan tuloksena väylän alusliikenteen vuotuinen polttoaineen kokonaiskulutus, -päästöt sekä näiden kustannukset on esitetty eri liikennemäärillä taulukossa 9. Eri vaihtoehtojen kokonaiskustannuksia on vertailtu keskenään. Vertailun lähtökohtana on käytetty vaihtoehtoa 1 (ei nopeusrajoituksia).

Taulukko 9 Väylän alusliikenteen polttoaineenkulutus ja päästöt sekä näiden kustannukset vuositason eri alusliikennemäärillä nopeusrajoitusvaihtoehdoilla 1-3

Liikennemäärä 3100 alusta/vuosi		Vaihtoehto		
		1	2	3
Polttoaineenkulutus	(tonnia / v)	15 891	14 667	13 896
Päästöt	(tonnia / v)	52 682	48 626	46 068
Polttoainekustannukset	(€ / v)	6 045 266	5 575 667	5 283 390
Päästökustannukset	(€ / v)	2 418 942	2 233 205	2 115 597
Kustannukset yhteensä	(€ / v)	8 464 208	7 808 872	7 398 987
Kustannussäästö	(€ / v)	0	-655 335	-1 065 221
Liikennemäärä 4000 alusta/vuosi		Vaihtoehto		
		1	2	3
Polttoaineenkulutus	(tonnia / v)	20 505	18 925	17 930
Päästöt	(tonnia / v)	67 977	62 743	59 443
Polttoainekustannukset	(€ / v)	7 800 343	7 194 409	6 817 277
Päästökustannukset	(€ / v)	3 121 215	2 881 555	2 729 803
Kustannukset yhteensä	(€ / v)	10 921 558	10 075 964	9 547 080
Kustannussäästö	(€ / v)	0	-845 594	-1 374 479
Liikennemäärä 5000 alusta/vuosi		Vaihtoehto		
		1	2	3
Polttoaineenkulutus	(tonnia / v)	25 631	23 657	22 413
Päästöt	(tonnia / v)	84 971	78 429	74 304
Polttoainekustannukset	(€ / v)	9 750 429	8 993 012	8 521 596
Päästökustannukset	(€ / v)	3 901 519	3 601 943	3 412 253
Kustannukset yhteensä	(€ / v)	13 651 948	12 594 955	11 933 850
Kustannussäästö	(€ / v)	0	-1 056 993	-1 718 098
Säästö %		0,0 %	7,7 %	12,6 %

Taulukon 9 laskentatulosten perusteella voidaan arvioida, että väylän nykyiset nopeusrajoitukset vähentäisivät vuositason väylän alusliikenteen polttoaineenkulutusta, päästöjä ja näistä aiheutuvia kustannuksia vajaat 10 % verrattuna tilanteeseen, jossa väylällä ei olisi nopeusrajoituksia. Jos nykyisiä nopeusrajoituksia laskettaisiin vaihtoehdon 3 mukaisesti, säästöt olisivat hieman yli 10 %. Euromääräisesti esitettynä säästöjä voitaisiin edellä esitettyjen laskelmien perusteella saavuttaa väylän nykyisillä nopeusrajoituksilla noin 0,6–1,0 M€ vuodessa alusliikennemääristä riippuen. Jos rajoituksia laskettaisiin, vastaavat säästöt olisivat tällöin noin 1,0–1,7 M€.

Jos polttoaineiden hinnat tai päästöjen yksikkökustannukset muuttuvat, myös saavutettavien säästöjen määrä luonnollisesti muuttuu. Lähitulevaisuudessa polttoaineiden hinnat todennäköisesti nousevat, sillä alusliikenteessä käytettäviltä polttoaineilta aletaan vaatia mm. Itämeren alueella nykyistä alhaisempia rikkipitoisuuksia. Poltto-

aineita koskevat uudet rajoitukset on esitetty kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n meriympäristön suojelukomitean 9.10.2008 hyväksymässä MARPOL 73/78 -yleissopimuksen VI ilmastosuojeluliitteessä (Merenkulkulaitos 2009 d). Rajoitusten tiukennukset astuvat voimaan vaiheittain. Vuoden 2015 alusta alkaen Itämerellä alusten käyttämien polttoaineiden enimmäisrikkipitoisuudeksi sallitaan enää 0,1 %, mikä tarkoittaa käytännössä siirtymistä nykyisestä raskaasta polttoöljystä huomattavasti kalliimman kaasuoiljyn (MGO) käyttöön (Merenkulkulaitos 2009 d).

Tiukat nopeusrajoitukset väylällä pidentävät alusten matka-aikaa. Alukset ehtivät näin kuljettaa vähemmän lastia ja alusten kiinteät kustannukset kuljetettua lastiyksikköä kohden kasvavat. Jos alusten matka-ajat pitenevät, päästö- ja polttoainekustannusten alenemisesta saatava säästö voi kuluu ainakin osittain aluskustannusten ja sitä kautta varustamokustannusten kasvuun. Linjaliikenteen alus voi myös joutua tiukan aikataulunsa vuoksi ottamaan väylän nopeusrajoitusalueella menetetyn ajan kiinni ajamalla esimerkiksi avomerellä tavallista matkanopeutta suuremmalla nopeudella. Tällöin polttoaineenkulutus ja päästöt sekä niiden kustannukset kasvavat, mikä taas johtaa väylällä nopeusrajoituksilla saavutettujen kustannussäästöjen menettämiseen.

Aluskustannusten kasvua, joka aiheutuu alusten matka-aikojen pidentymisestä, on hankalaa selvittää. Vaikka aluksen kiinteät kustannukset kuljetettua lastiyksikköä kohden teoriassa kasvavat, kun aluksen matka-aika pidentyy, on tällä kokonaisuuden kannalta käytännössä merkitystä ainoastaan tilanteessa, jossa alukselta jää tämän vuoksi vuositasolla yksi tai useampi vuoro ajamatta.

7 Johtopäätökset ja suositukset

Alusliikenteen ympäristövaikutusten vähentämiseen tähtäävien nopeusrajoitusten määrittäminen kauppamerenkulun väylälle on hankala tehtävä. Alusnopeuksilla väylällä ja sitä kautta väylälle määrätyillä nopeusrajoituksilla voi olla vaikutusta niin alusten aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin, alusliikenteen turvallisuuteen, liikenteen sujuvuuteen kuin alusliikenteen ohjauksen ja sataman toimintaan. Väyläviranomaisen tavoitteena on yhtäältä edistää alusliikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta, mutta toisaalta myös pyrkiä vähentämään alusliikenteen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Nämä tavoitteet ovat voimakkaasti ristiriitaisia. Nopeusrajoituksia laskemalla alusten aalto- ja virtausvaikutuksesta aiheutuvat ympäristöhaitat vähenevät, mutta samalla alusliikenteen sujuvuus ja turvallisuus voi heikentyä.

Jos uuden väylähankkeen tai väylän kehityshankkeen suunnittelualueella sijaitsee alusliikenteen vaikutuksille herkkiä alueita, väylälle tulevan alusliikenteen aiheuttamia aaltoja ja virtauksia sekä niiden haittavaikutuksia olisi tärkeää pyrkiä arvioimaan mahdollisimman tarkasti jo hankkeen suunnitteluvaiheessa. Alusliikenteen vaikutuksille herkkiä kohteita ovat erityisesti sellaiset ranta-alueet, jotka sijaitsevat alle 1000 metrin etäisyydellä väylästä ja joilla on venesatamia ja -laitureita, ranta-asutusta tai erilaisia ulkoilu- ja virkistyskäyttöalueita. Alusten aallonmuodostuksesta aiheutuvat haittavaikutukset korostuvat usein rannoilla, jotka ovat suojassa tuulilta ja luonnonaallokolta. Alusten uppoumavirtausten aiheuttamat vedenpinnan korkeusvaihtelut väylän lähirannoilla voivat olla voimakkaita erityisesti kohdissa, joissa väylä kulkee esimerkiksi salmessa, kapeikossa tai ruopatulla alueella.

Suunnittelun yhteydessä tehtävän arvioinnin etuna olisi se, että voitaisiin jo ennakolta varautua mahdollisesti tarvittaviin rantojen tai venesatamien suojaustoimenpiteisiin ja arvioida nopeusrajoitusten tarvetta tulevalle väylällä. Kun nämä tekijät ja niistä hankkeelle aiheutuvat lisäkustannukset otettaisiin jo suunnitteluvaiheessa huomioon, voitaisiin nämä kustannukset sisällyttää hankkeen kustannusarvioon, mikä taas edistäisi kokonaistaloudellisesti parhaan ratkaisun löytämistä.

Kirjallisuusselvityksen ja Vuosaaren väylän varrella tehtyjen maastotutkimusten perusteella voidaan todeta, että alusten aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö kapeilla saaristoväylillä on hyvin tapauskohtaista ja riippuu useista eri tekijöistä. Alusten käyttämillä nopeuksilla on merkittävä rooli aalto- ja virtaushäiriön synnyssä. Muita tekijöitä, jotka vaikuttavat alusten aallonmuodostukseen ja väylältä rantaan kantautuvien laiva-aaltojen ominaisuuksiin ovat vesialueen syvyysolosuhteet, väylän ja kohteen välinen etäisyys sekä alusten yksilölliset ominaisuudet, kuten aluksen pituus ja rungon muoto. Alusten uppoumavirtausten aiheuttamat vedenpinnan korkeusvaihtelut väylän lähialueella olevien saarten rannoilla ovat ensisijaisesti riippuvaisia alusten koosta ja nopeudesta sekä aluksen ja kohteen välisestä etäisyydestä. Myös vesialueen muodolla, vesisyvyydellä ja pohjaolosuhteilla on merkittävä vaikutus vedenpinnan korkeusvaihteluiden voimakkuuteen.

Nykyisillä nopeusrajoituksilla Vuosaaren väylän alusliikenteen todettiin aiheuttavan sellaisia vesien käyttöön kohdistuvia haittavaikutuksia, jotka poikkeavat tavanomaisissa tuuliolosuhteissa esiintyvän luonnonaallokon aiheuttamista vaikutuksista pääasiassa Kuiva-Hevosen saaren eteläpuolen venesatamassa. Saari sijaitsee nykyisellä 30 km/h nopeusrajoitusalueella. Tässä venesatamassa havaitut ongelmat johtuvat ensisijaisesti siitä, että satamaan kohdistuvat aalto- ja virtausvaikutukset ovat muut-

tuneet uuden väylän ja sillä liikkuvan alusliikenteen myötä, eivätkä sataman nykyiset ominaisuudet vastaa näitä muuttuneita olosuhteita.

Tilanteessa, jossa väylän nopeusrajoitusta nostettaisiin nykyisellä 30 km/h rajoitusalueella, alusten aiheuttamat haittavaikutukset arvioiden mukaan lisääntyisivät nykyisessä ongelmakohteessa ja uusia ongelmakohteita voisi ilmaantua. Nykyisellä 17 km/h rajoitusalueella merkittäviä haittavaikutuksia ei todettu esiintyvän, mutta jos nykyistä 17 km/h rajoitusta nostettaisiin sisään ajettaessa, haittavaikutukset todennäköisesti lisääntyisivät erityisesti Krokholmenin saaren väylän puoleisilla rannoilla. Sen sijaan satamasta ulos ajettaessa nykyistä 17 km/h rajoitusta voitaisiin nostaa arvioiden mukaan aina rajoitukseen 25 km/h saakka ilman, että alusten aiheuttamat haitat kohtuuttomasti lisääntyisivät.

Väylälle operoiville alusten päälliköille ja luotseille suunnatun kyselytutkimuksen perusteella voidaan todeta, että nykyisellä 30 km/h rajoitusalueella niin kontti-, roro- kuin ropax-aluksetkin voivat liikkua turvallisesti rajoituksen sallimilla nopeuksilla. Tyynellä kelillä alukset voisivat liikkua turvallisesti myös nykyistä rajoitusta alhaisemmilla nopeuksilla, mutta jo kohtalaisilla tuulilla alusten sortokulma voi kasvaa niin suureksi, että myös alusten turvallisen ohjailun vaatimat vähimmäisnopeudet kasvavat. Erityisesti suurten roro- ja ropax-alusten, joilla on laaja tuulipinta-ala, vaatimat vähimmäisnopeudet ovat alusten päälliköiden mukaan kovemmilla tuulilla tuulennopeudesta ja -suunnasta riippuen hyvin lähellä väyläosan nykyistä nopeusrajoitusta.

Nykyisellä 17 km/h rajoitusalueella niin kontti-, roro- kuin ropax-aluksetkin voivat liikkua tyynellä kelillä turvallisesti rajoituksen sallimilla nopeuksilla molemmissa ajosuunnissa. Kovemmilla tuulilla useat roro- tai ropax-alukset vaatisivat alusten päälliköiden mukaan tällä väyläosuudella 19–24 km/h vähimmäisnopeuksia molemmissa ajosuunnissa. Luotsien mukaan myös konttialukset vaatisivat tällä väyläosuudella hieman nykyistä rajoitusta suurempia nopeuksia satamasta ulos ajettaessa.

Tarkasteltaessa väylän nopeusrajoituksia alusliikenteen ohjauksen ja liikenteen sujuvuuden näkökulmasta voidaan todeta, että nopeusrajoituksia ei olisi syytä laskea vaan päinvastoin nostaa nykyisistä. Väylä on loppuosaltaan yksikaistainen, mikä asettaa erityisvaatimuksia alusliikenteen ohjaukselle ja liikenteen sujuvuudelle. Tiukat nopeusrajoitukset väylällä lisäävät alusten odotusaikoja niin väylän alkupäässä, yksikaistaisen väyläosuuden puolivälissä olevalla kohtaamis- ja odotusalueella kuin satamassakin. Pidentyneet odotusajat voivat aiheuttaa ongelmia erityisesti linjaliikenteelle, jolla on tyypillisesti tiukat aikataulut. Väylän alusliikennemäärien odotetaan kasvavan tulevaisuudessa, ja tämän kasvun myötä vaatimukset alusliikenteen sujuvuudelle lisääntyvät entisestään. Tiukat nopeusrajoitukset väylällä voivat myös edesauttaa väylän ruuhkautumista tilanteessa, jossa useat alukset ovat tulossa satamaan tai lähtemässä sieltä yhtäaikaaisesti. Väylän ruuhkautuminen aiheuttaisi alusten pidentyneiden odotusaikojen ohella myös satamatyöntekijöiden ja muiden kuljetusketjuun kuuluvien työntekijöiden odotusaikojen lisääntymistä ja sitä kautta esimerkiksi työvoimakustannusten kasvua.

Väylän polttoaineenkulutus-, päästö- ja kustannuslaskelman perusteella voidaan arvioida, että väylän nykyiset nopeusrajoitukset vähentäisivät vuositasolla väylän alusliikenteen kokonaispolttoaineenkulutusta, -päästöjä ja näistä aiheutuvia kustannuksia vajaat 10 % verrattuna tilanteeseen, jossa väylällä ei olisi lainkaan nopeusrajoituksia. Jos rajoituksia laskettaisiin nykyisistä luvussa 6 kuvatulla tavalla, vastaavat

vuotuiset säästöt olisivat tällöin hieman yli 10 %. Prosentuaalisia osuuksia vastaavat euromääräiset säästöt olisivat väylän alusliikennemääristä riippuen vuositasolla noin 0,6–1,7 M€. Kustannussäästöistä noin 70 % saavutettaisiin polttoainekustannusten ja noin 30 % päästökustannusten alenemisen myötä.

Vaikka väylän nopeusrajoitusten myötä alusten polttoaineenkulutus ja päästöt vähenivät väylällä, tällä ei ole juuri merkitystä, kun tarkastellaan koko merikuljetusmatkan aikana alusten kuluttaman polttoaineen määrää ja aiheuttamia päästöjä. Aluksen kulkema matka sataman sisääntuloväylällä on tyypillisesti pieni verrattuna koko ulkomaan merikuljetusmatkan pituuteen. Voidaankin ajatella, että tässä yhteydessä nopeusrajoituksista saatava hyöty muodostuu lähinnä alusten päästökuormituksen vähentymisestä rannikon herkässä saaristoympäristössä.

Tämän työn tavoitteena oli löytää alusliikenteen ympäristövaikutusten, turvallisuuden ja sujuvuuden kannalta optimaalinen nopeusrajoitus väylälle. Työn aikana kävi kuitenkin selväksi, että varsinaista optimaalista tilannetta ei voida saavuttaa. Voidaan paremminkin puhua pienimmän haitan vaihtoehdosta. Seuraavassa on esitetty tämän työn tuloksiin perustuen suositukset Vuosaaren väylän nopeusrajoituksiksi. Lisäksi on esitetty muutamia ehdotuksia, joilla väylän alusliikenteen sujuvuus lisääntyisi ja vesien käyttöön kohdistuvat haittavaikutukset vähentyisivät.

Väyläosuudella Kuiva-Hevonen–Krokholmen nykyinen 30 km/h nopeusrajoitus säilytettäisiin ennallaan molemmissa ajosuunnissa. Nopeusrajoitus alkaisi ennen Kuiva-Hevosta Östra Rödhällenin luodon kohdalta ja jatkuisi ennen Krokholmenin edustan ruoppausaluetta olevalle poijuparille saakka. Nopeusrajoituksen 30 km/h säilyttäminen ennallaan tällä väyläosuudella edellyttäneen lisäsuojausten rakentamista Kuiva-Hevosen eteläpuolen venesatamaan ja sataman parantamista. Tämä tarkoittaisi käytännössä satamaa suojaavan lisäällönmurtajan rakentamista sekä mahdollisesti laiturien edustojen syventämistä ja laiturirakenteiden parantamista.

Väyläosuudelle Krokholmen–Vuosaaren satama nykyinen 17 km/h nopeusrajoitus säilytettäisiin ennallaan sisään ajettaessa, mutta rajoitus muutettaisiin alkavaksi jo ensimmäisen poijuparin kohdalta ennen Krokholmenin edustalla olevaa ruoppausaluetta. Ulos ajettaessa nykyistä 17 km/h nopeusrajoitusta taas nostettaisiin rajoitukseen 24–25 km/h.

Koska väylän nopeusrajoitukset heikentävät alusliikenteen sujuvuutta, mutta toisaalta alusliikenteen vesien käyttöön kohdistuvat haittavaikutukset ilmenevät pääosin kesäaikaan, olisi perusteltua pohtia sellaista vaihtoehtoa, että nopeusrajoitukset väylällä olisivat talvikaudella kesäkautta suurempia. Tällaiseen vaihtoehtoon sisältyy kuitenkin muutamia mahdollisia riskitekijöitä, jotka on syytä ottaa huomioon.

1. Alusten nopeuden lisääntyessä myös alusten aiheuttamat vedenpinnan korkeuden vaihtelut lisääntyvät. Jäätalvina voimakkaiden vedenpinnan korkeuden vaihteluiden mukana liikkuva jääkenttä voi aiheuttaa vahinkoa talven yli jäissä seisovien kiinteiden laitureiden rakenteille.
2. Talvikauden nopeusrajoituksen alkamis- ja päättymisajankohtien määrittäminen voi olla ongelmallista. Kevään tullessa aikaisin jotkut saariston asukkaat voivat saapua saariin jo hyvinkin varhain ja vastaavasti lämpiminä syksyinä he voivat viipyä siellä hyvinkin pitkään.

Ennen kesäkaudesta poikkeavien talvikauden rajoitusten kokeilua tulisi keskustella alusliikenteeseen liittyvien eri osapuolten kanssa kokeilun vaikutuksista, sillä tällaisia eri kausina erilaisia nopeusrajoituksia ei Suomen kauppamerenkulun väylillä tietävästi ole aikaisemmin ollut käytössä. Jos kokeilu päätetään toteuttaa, tulee myös saariston asukkaita informoida siitä riittävästi.

Niissä väylän varrella olevissa saarissa, joissa käy paljon satunnaisia veneilijöitä, alusliikenteen aiheuttamia haittavaikutuksia voitaisiin vähentää lisäämällä informaatiota alusten mahdollisista aiheuttamista haitoista rannoilla. Näiden saarten rantautumis- ja veneidenkiinnityspaikoille voitaisiin pystyttää infotauluja, joissa varoitettaisiin mahdollisista laiva-aalloista ja vedenpinnan korkeusvaihteluiden esiintymisestä. Tällaisia varoitustauluja voitaisiin pystyttää ainakin Länsitoukin venepoukamaan ja Krokholmenin pohjoisrannan ulkoilualueen ranta-alueelle. Muille paikoille infotauluja voitaisiin harkita tapauskohtaisesti.

Lähteet

Aage, C. et al. (2003). *Guidelines for managing wake wash from high-speed vessels*. PIANC. Report on Working Group 41 – MARCOM. Brussels, Belgium. ISBN 2-87223-142-0. 32 s.

Allenström, B. et al. (2003). *The Interaction of Large and High-Speed Vessels with the Environment in Archipelagos –Final Report*. SSPA Research Report No.122, 2003. Sweden. ISBN 91-86532-35-9. 92 s + liit. 166 s.

Friman, H. (1989). *Autolauttaliikenteen vaikutus vesimassaan ja rantoihin Etelä-Airistolla*. Pro gradu tutkielma. Turun yliopisto. Maantieteen laitos. 79 s.

Granath L. (2007). *Stranerorisionsrisker I samband med anlop av "Navigator of the Seas"*. Hydrographica AB. Sweden. Rapport 2007-08-30. [Viitattu 13.4.2010]. Saatavilla <http://www.sjofartsverket.se/pages/3459/SlutrapportNavigator.pdf>.

Heikkonen, M (toim.). (2008). *Vuosaaren satama ja ympäristö, Suunnittelusta rakentamiseen*. Vuosaaren sataman rakennusprojekti VUOSA, Vuosaaren sataman liikenneyhteydet VUOLI. Helsinki. ISBN 978-952-223-250-2. 180 s.

Helsingin satama (2010). *Helsingin sataman vuosikertomus 2009*. [Viitattu 3.8.2010] saatavilla http://www.portofhelsinki.fi/content/pdf/julkaisut/HelSa_vsk_2009_net.pdf.

Huesig, A. et al. (1999). *Hydraulic and environmental impacts of high speed cargo ships on inland waterways*. Conference paper. First European Inland Waterway Navigation Conference. Balatonfüred, June 9.-11. 1999.

Ilmatieteenlaitos verkkosivut (2010). *Aaltoennuste*. [Viitattu 9.8.2010] Saatavilla http://www.fmi.fi/saa/meri_12.html.

Itämeriportaali, verkkosivut (2010). *Tuulen kehittämien aaltojen elinkaari*. [Viitattu 7.9.2010] Saatavilla http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/yleiskuvaus/veden_liikkeet/aallot/fi_FI/aaltojen-elinkaari/

Keränen, V. ja Leinonen, M. (2009). *Alusten käsittelyn teoria ja simulaattoriharjoitukset*. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Merenkulun koulutusohjelma. Kotka. 44 s. Ketonen, J. (2010). Finnpiilot Oy:n luotsinvanhin. Sähköpostiviesti 12.8.2010.

Ketonen, J. (2010). Finnpiilot Oy:n luotsinvanhin. Sähköpostiviesti 12.8.2010.

Kostiainen, K. (2008). *Vuosaaren meriväylän turvallisuus*. Kalvoesitys Logistics 2008 - tapahtumassa. [Viitattu 2.7.2010]. Saatavilla http://www.wanhasatama.com/dman/Document.phx/Omat+kansiot/Tapahtumat/2008/Logistics08/F_Kostiainen?folderId=Omat%20kansiot%20FTapahtumat%20F2008%20Logistics08&cmd=download.

Kämäräinen, J et al. (2009). *Suomen kansainvälisen meriliikenteen päästöt 2008 - tietokonemalli MERIMA*. Julkaisematon työraportti. Helsinki. 33 s.

Larjo, K et al. (2010). *Luotsaustyö ja sen kehitys*. Onnettomuustutkintakeskuksen julkaisuja. Helsinki. ISBN 978-951-836-279-4. 169 s.

Lewis, E (toim.). (1989). *Principles of Naval Architecture (Second Revision), Volume III - Motions in Waves and Controllability*. Society of Naval Architects and Marine Engineers. ISBN 978-0-939773-02-2. 451 s.

Liikennevirasto (2010). *Vesiliikennelain soveltamisohje*. Julkaisematon, versio 0.3. 14.4.2010.

Madekivi, O. (toim.). (1993). *Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset*. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja -sarja A 166. Helsinki. ISBN 951-47-8490-1. 113 s.

Madekivi, O. (1995). *Vesiliikenteen ympäristövaikutukset ja niiden arviointi*. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. Espoo. 117 s.

Matusiak, J. (2005). *Laivan propulsio*. Teknillinen korkeakoulu, Laivalaboratorio. Opetusmoniste M 176. Espoo. ISBN 951-22-1694-9. 140s.

Matusiak, J. (2010). *Laivan kulkuvastus*. Teknillinen korkeakoulu, Laivalaboratorio. Opetusmoniste M 289. Espoo. ISBN 978-952-60-3018-0. 59 s.

Merenkulkulaitos. (2001). *Laivaväylien suunnitteluohjeet*. Merenkulkulaitoksen sisäisiä julkaisuja 1/2001. Helsinki. ISSN 1456-9442. 42 s. + liit 13 s.

Merenkulkulaitos. (2005 a). *Kökarin väyläsuunnitelman riskianalyysi*. Merenkulkulaitoksen sisäisiä julkaisuja 9/2005. Helsinki. ISBN 951-49-2106-2. 93 s.

Merenkulkulaitos. (2005 b). *Väylien syvyyskäytäntö*. Merenkulkulaitoksen tiedotuslehti 8/12.7.2005. Dnro 1343/610/2005.

Merenkulkulaitos. (2009 a). *Suomen merikuljetusten toimintaympäristön muutokset*. Merenkulkulaitoksen julkaisuja 4/2009. Helsinki. ISBN 978-951-49-2154-4. 56 s.

Merenkulkulaitos. (2009 b). *Ulkomaan meriliikenteen kuukausitilatot, Joulukuu 2009*. ISSN (sähköinen) 1795 – 5106. ISSN (painettu) 1795 – 5068.

Merenkulkulaitos. (2009 c). *Merenkulkulaitoksen viranomaistoiminta vesiväyläasioissa*. Merenkulkulaitoksen julkaisuja 2/2009. Helsinki. ISBN 978-951-49-2149-0. 29 s.

Merenkulkulaitos. (2009 d). *Aluskustannukset 2009*. Merenkulkulaitoksen julkaisuja 3/2009. ISBN 978-951-49-2150-6. Helsinki. 59 s.

Mäkelä, K. et al. (2009). *Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2008*. VTT tutkimusraportti VTT-R- 08702-09. Espoo. 35 s + liit. 11 s.

Noroviita, K. (2009). Vuosaaren satamakeskuksen johtaja. Sähköpostiviesti 7.8.2009.

Noroviita, K. (2010). Vuosaaren satamakeskuksen johtaja. Sähköpostiviesti 18.8.2010.

Paukkeri, S. (2010). *Nopeusrajoitukset alusliikenteen ympäristövaikutusten, turvallisuuden ja sujuvuuden kannalta Vuosaaren meriväylällä*. Diplomityö. Aalto-yliopiston Teknillinen korkeakoulu. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Espoo. 100 s.

Saatavilla http://civil.tkk.fi/fi/tutkimus/liikennetekniikka/opinnaytteet/diplomityo_paukkeri_2010/

Rytkönen, J. et al. (2001). *Laivojen aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö rannassa. Aalto- ja virtausmittaukset Airstolla 02.-05.2000*. VTT, Valmistustekniikka. Espoo. Tutkimusraportti BVAL34-001016. 40 s + liit 51 s.

Rytkönen, J. et al. (2002). *Alusten aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö*. VTT, Valmistustekniikka. Espoo. Tutkimusraportti VAL34-013037. 77 s + liit 7 s.

Rytkönen J. ja Sassi, J. (2002). *Defining Wind Limits in European Ports, questionnaire survey*. VTT Industrial Systems. Espoo. Research Report BVAL34-011177. 13 s + liit. 19 s.

Salmela, R. ja Soimakallio, H. (1996). *Vuosaaren satamahanke ja Vuosaaren 11 m:n väylä, Vesioikeudelliset hakemusiakirjat*. IVO International Oy, Ympäristö- ja perusparannukset.

Suomen kaupunkiliitto. (1981). *Venesatamien suunnittelu*. Kaupunkiliiton julkaisuja C 38. Helsinki. ISBN 951-759-167-5. 90 s.

Talja, S. (2010). Suomenlahden meriliikennekeskuksen päällikkö. Sähköpostiviesti 2.7.2010.

Tulli. (2000-2008). *Ulkomaankauppa 2000-2008 taskutilastot*. Tullihallituksen tilasto- ja julkaisuja. [Viitattu 14.4.2010]. Saatavilla http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/ulkomaankauppatilastot/tilastokatsaukset/muut_katsaukset/taskut/index.jsp.

Tuomi, L. et al. (2010). *Aallokko Itämerellä*. Merentutkimuslaitos. Kalvoesitys. [Viitattu 15.4.2010] Saatavilla http://www.fmi.fi/kuvat/Aallokko_Itamerella.pdf.

Vesilaki (1961). *Vesilaki 19.5.1961/264*. [Viitattu 12.7.2010]
Saatavilla <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1961/19610264>

Vesiliikennelaki (1996). *Vesiliikennelaki 20.6.1996/463*. [Viitattu 12.7.2010]
Saatavilla <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19960463>

Vesiliikenneasetus (1997). *Vesiliikenneasetus 7.2.1997/124*. [Viitattu 12.7.2010]
Saatavilla <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1997/19970124>

Liik
enne
vira
sto

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-609-7

www.liikennevirasto.fi